

Universidad de Antioquia
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Instituto de Biología

BRIÓFITOS INDICADORES DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL
ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al Título de Biólogo

Eulalia Mesa González
Alejandro Camargo García

Asesora
Margarita Escobar, Bióloga MSc.

2011
Medellín

DEFINICIÓN DE AUTORÍA:

Este proyecto tuvo como autores a Eulalia Mesa González, Alejandro Camargo García y Margarita Escobar Acosta.

*Aunque probablemente,
como tantas de las cosas de los humanos,
las ciencias biológicas sean una ilusión,
es más fácil si la mente
se entretiene de alguna manera.*

Prólogo

“Llama la atención las bajas concentraciones de SO₂ registradas en los últimos años. Es muy posible que se tenga un problema en la recolección de la muestra o en el análisis de la misma, y es un aspecto que entrar a corregir. A este respecto, es importante decir que cuando se inició la monitoría de calidad de aire en octubre de 2000, con el AMVA como Autoridad Ambiental, se presentó una gran inquietud respecto al inicio de las mediciones de SO₂ y NO₂, ya que estos equipos tenían la unidad de refrigeración mala. Ante esta situación, se consiguió un equipo tres gases con dicha unidad de refrigeración buena y se pusieron a operar simultáneamente en una misma estación. Esta prueba se realizó entre el 07 de febrero y el 18 de marzo de 2001 en la Universidad de Medellín.

En los resultados de esta prueba de refrigeración se encontraron concentraciones muy similares de SO₂ entre los dos equipos. Por esta razón, se concluyó que la unidad de refrigeración tenía poca incidencia en los resultados, al menos en esta zona del Valle de Aburrá, y se tomó la decisión de poner en operación estos tipos de equipos en las demás estaciones (Bedoya, 2001). Hoy en día este concepto hay que revisarlo y actualizarlo teniendo en cuenta los avances que se han tenido en los sistemas de gestión de calidad y el seguimiento de los protocolos de mediciones de calidad del aire del MAVDT. Además que estos tres gases son equipos obsoletos porque es una tecnología vieja”

*Evaluación de los niveles de contaminación en las zonas del Valle de Aburrá
Área Metropolitana, 2010*

TABLA DE CONTENIDO

<u>1.</u>	<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>6</u>
<u>2.</u>	<u>EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</u>	<u>7</u>
A.	OBJETO DE INVESTIGACIÓN	7
B.	PLANTEAMIENTO O DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	7
C.	FORMULACIÓN O ENUNCIACIÓN DEL PROBLEMA	8
D.	JUSTIFICACIÓN	8
<u>3.</u>	<u>MARCO TEÓRICO O CONTEXTO DEL PROBLEMA</u>	<u>9</u>
	IMPORTANCIA DE LA BIOINDICACIÓN	9
	BRIOFITOS Y BIOINDICACIÓN.	10
	BRIOFITOS EPÍFITOS Y BIOINDICACIÓN	11
	FISIOLOGÍA DE LA CONTAMINACIÓN EN BRIOFITOS	11
	MÉTODOS DE BIOINDICACIÓN EN BRIOFITOS	15
	ÍNDICE DE PUREZA ATMOSFÉRICA	17
	REDAIRE Y CALIDAD DEL AIRE EN EL VALLE DE ABURRÁ	19
	BEDOYA Y MARTINEZ DESCRIBEN DE LA SIGUIENTE MANERA LA CALIDAD DEL AIRE EN EL VALLE DE ABURRÁ:	20
<u>4.</u>	<u>HIPÓTESIS</u>	<u>22</u>
<u>5.</u>	<u>OBJETIVOS</u>	<u>22</u>
A.	GENERAL	22
B.	ESPECÍFICOS	22
<u>6.</u>	<u>MÉTODOS</u>	<u>23</u>
A.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA	23
B.	DISEÑO MUESTRAL	24
C.	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.	29
<u>7.</u>	<u>RESULTADOS</u>	<u>29</u>
<u>8.</u>	<u>DISCUSIÓN</u>	<u>38</u>
<u>9.</u>	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>44</u>

10. ANEXOS 49

ANEXO 1. LISTA DE FAMILIAS Y ESPECIES DE LOS BRIOFITOS EPÍFITOS ENCONTRADOS EN <i>FRAXINUS CHINENSIS</i> EN EL VALLE DE ABURRÁ	49
ANEXO 2. FOTOGRAFÍAS DE ALGUNAS ESPECIES DE BRIOFITOS EPÍFITOS ENCONTRADOS EN <i>FRAXINUS CHINENSIS</i> EN EL VALLE DE ABURRÁ.	50

1. INTRODUCCIÓN

En el Valle de Aburrá y principalmente en sus áreas urbanas, el crecimiento de la población en las últimas décadas ha estado acompañado de altas tasas de urbanismo, desarrollo industrial y uso de vehículos de motor. Estas actividades han producido gran cantidad de contaminantes atmosféricos complejos, entre los cuales se destacan: material particulado en suspensión (PST), material particulado respirable (PM10), material particulado inhalable (PM2.5), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO) y Ozono (O₃) (Toro y Marín, 2007).

Las condiciones orográficas del Valle de Aburrá, específicamente el hecho de estar rodeado por altas montañas, han acentuado el problema de la presencia de dichos contaminantes en la atmósfera, debido a que las bajas velocidades de los vientos limitan la circulación del aire (Bedoya y Martínez, 2008). Es por esto, que la contaminación en el Valle de Aburrá se ha convertido en una preocupación creciente, ya que afecta la calidad de vida de las personas, produciendo afecciones respiratorias, auditivas y visuales (Cardona, 2007).

Los bioindicadores han surgido como una alternativa para valorar la contaminación, ya que son económicos y permiten mediciones inmediatas en grandes áreas, actuando como señales de alarma (Hawksworth, 2005). Estos organismos responden a los cambios ambientales de manera predecible, observable y cuantificable (McGeoch, 1998). Las especies indicadoras poseen nichos estrechos con respecto a uno o más factores ambientales, de manera que al estar presentes muestran que hay ciertas condiciones particulares en el ambiente (MacGeoch, 1998). De esta manera, según las diferencias en las especies en cuanto a la sensibilidad al agente estresante, se presenta un arreglo único de especies, característico de cada escenario (Mistry, 1998).

La ausencia de briofitos en zonas contaminadas, el hecho de ser perennes, no desplazarse y que pueden ser muestreados en el transcurso de todo el año, además de algunas de sus características morfológicas y fisiológicas (Frego, 2007), los convierte en indicadores biológicos accesibles.

Los estudios que usan a los briofitos como indicadores se basan en su sensibilidad a los compuestos que contienen nitrógeno o azufre; así, los briofitos responden a la contaminación aérea principalmente con cambios en su distribución, abundancia, biomasa, salud y estructura de las comunidades (Zechmeister et al, 2007).

En este contexto, el presente estudio pretendía establecer la relación entre la calidad del aire del Valle de Aburrá y los briofitos epifitos presentes en los fresnos (*Fraxinus chinensis*), como una forma fácil de monitorear la calidad del aire.

2. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

a. Objeto de investigación

Briofitos epifitos en *Fraxinus chinensis* del Valle de Aburrá

b. Planteamiento o definición del problema

El área metropolitana del Valle de Aburrá se ha convertido en una zona con altos índices de contaminación atmosférica, los cuales son medidos a través de variables físico-químicas. La implementación de bioindicadores para monitorear la calidad del aire puede resultar en una alternativa económica que ofrece resultados rápidos.

En algunas ciudades se han hecho estudios acerca de la sensibilidad diferencial de las especies de briofitos a los contaminantes del aire, generalmente óxidos de azufre y de nitrógeno (Le Blanc y De Sloover, 1970; Davis et al, 2001). En el Valle de Aburrá se hacen monitoreos de la

concentración atmosférica de estos contaminantes, pero no existen estudios sobre la relación entre la cobertura y riqueza de briofitos epífitos y la concentración atmosférica de azufre y nitrógeno.

c. Formulación o enunciación del problema

¿Cuál es la relación entre la cobertura y riqueza de briofitos epífitos en *Fraxinus chinensis* del Valle de Aburrá, con la contaminación atmosférica medida a partir de las estaciones de Redaire?.

d. Justificación

La tasa de crecimiento de la humanidad, prácticamente exponencial y por tanto el aumento de la demanda de suelo urbano, conllevan a un crecimiento exorbitante de las ciudades. Esto se encuentra acompañado de un aumento en la contaminación y una disminución en la calidad de vida de las personas.

En este contexto, en el Valle de Aburrá se ha observado una explosión demográfica progresiva en los últimos tiempos, así como el desarrollo de múltiples actividades industriales e incremento en el uso de vehículos automotores, actividades que sumadas han producido gran cantidad de contaminantes atmosféricos que pueden estar afectando la calidad del aire que respiran sus habitantes.

El uso de bioindicadores para la determinación de la calidad del aire en las ciudades, es una estrategia de bajo costo que permite el monitoreo del ambiente y en un escenario ideal, trascender de los datos hallados a la formulación de estrategias y políticas urbanas que propendan por la calidad de vida de sus habitantes.

Los briofitos son un grupo poco estudiado en Antioquia, así como la bioindicación de la calidad atmosférica de sus ciudades. Con el presente

estudio se pretendió incrementar el conocimiento sobre las especies de briofitos epifitos que habitan en el Valle de Aburrá así como su uso específico como bioindicadores de la calidad del aire. De igual manera, se presenta una metodología detallada de fácil uso así como los inconvenientes encontrados en su aplicación, con la pretensión que otros investigadores continúen trabajando en esta área.

3. MARCO TEÓRICO O CONTEXTO DEL PROBLEMA

Importancia de la bioindicación

En las últimas décadas, se ha desarrollado la técnica de usar organismos cosmopolitas para evaluar los niveles de contaminación en los diversos ambientes; estos seres pueden mostrar el comportamiento de un contaminante dado a través del tiempo e incluso pueden permitir comparaciones entre niveles de contaminación en áreas ubicadas en diferentes zonas geográficas (Conti y Cecchetti, 2001). En este sentido, una especie puede ser establecida como bioindicador de la calidad del aire cuando presenta cambios en el comportamiento como resultado de alteraciones en la concentración de dicho factor estresante; estos cambios pueden ser entendidos como: diferencias en la riqueza, ausencia y presencia, cambios fisiológicos, ecológicos y morfológicos (Wolterbeek, 2002).

Los bioindicadores funcionan como una alternativa y un complemento a los análisis químicos del aire debido a que brindan la posibilidad de observar y analizar los efectos de la sinergia de los diferentes contaminantes que actúan en el ambiente. Además, proveen información de los niveles medios de contaminación causada por los microcontaminantes, debido al fenómeno de bioacumulación y permiten conocer la incidencia de los diversos contaminantes gracias a estudios toxicológicos y ecotoxicológicos (Falla et al, 2000). Así mismo, estos organismos son usados para expresar las diferentes interacciones entre los agentes estresantes con la biosfera (Oguntimehin et al, 2010) y esta herramienta se basa en la diferencia en la sensibilidad que existe entre las diversas especies en respuesta a un agente contaminante (Falla et al, 2000).

Según diversos autores, un organismo que funcione como buen bioindicador debe:

- Ser lo suficientemente común y permanente en el área de estudio y de esta manera estar disponible para ser colectado durante el transcurso de los años en ese mismo lugar (Wolterbeek, 2002).
- Presentar facilidad de muestreo y bajo costo (Wolterbeek, 2002).
- Tener una amplia distribución geográfica (Falla et al, 2000).
- Poseer una respuesta distintiva, que sea capaz de predecir como las especies responderán al agente estresante (Tingey, 1989).

Briofitos y bioindicación.

Los estudios con briofitos como indicadores de la calidad del aire se han venido utilizando desde hace décadas. Estos se han escogido como bioindicadores debido a múltiples características como: ser sedentarios (Falla et al, 2000), ser simples morfológica y anatómicamente (Rao, 1982), presentar baja tasa de crecimiento, no poseer tejido vascular especializado, exhibir cambios morfológicos “mínimos” durante su ciclo de vida, ser perennes, mostrar amplia distribución, tener gran área superficial para la absorción de contaminantes, ser fáciles de muestrear y brindar la posibilidad de determinar la concentración de los contaminantes en los segmentos que crecen anualmente (Poikolainen, 2004).

Otras características relevantes para considerar a los briofitos como buenos candidatos a bioindicadores son: estar adheridos a un sustrato por rizoides que les sirven para anclarse a él pero que usualmente no participan en la toma y en la translocación de nutrientes (Davis et al, 2001), ser poiquilohídricos, carecer de una cutícula hidrofóbica (lo cual los mantiene directamente expuestos a los diversos contaminantes que se encuentran en el ambiente) (Vanderpoorten y Goffinet, 2009), reaccionar a los cambios en el ambiente rápida y generalmente de forma más directa que la reacción que presentan las plantas vasculares, presentar un

alto grado de sensibilidad a ciertos contaminantes como los compuestos de sulfuro y nitrógeno y por otro lado ser muy resistentes a otros factores de estrés como los son metales pesados y muchos contaminantes orgánicos (Krommer et al, 2007).

Briofitos epífitos y bioindicación

Estudios previos han demostrado que las briofitas epífitas son más sensibles a los contaminantes a diferencia de las especies que se encuentran en otros sustratos, ya que los contaminantes son adsorbidos en la corteza y los briofitos son muchas veces inundados con agua de lluvia cargada de contaminantes del aire, del follaje y del tronco (Rao, 1982). Por otro lado los propágulos vegetativos que se desarrollan en las pequeñas grietas de la corteza son sumamente sensibles a las propiedades físico-químicas de esta y su capacidad buffer es bastante limitada (Rao, 1982; Vanderpoorten y Goffinet, 2009). Adicionalmente, según Brown (1982) el pH de la corteza disminuye con el aumento en la edad del árbol y la presencia de lluvia ácida, mientras que aumenta cuando se incrementa la deposición de polvo y los árboles se encuentran más cercanos al mar.

Fisiología de la contaminación en Briofitos

En las ciudades se encuentran presentes numerosos contaminantes como: CO, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, SO₂, aldehídos, metales pesados y otros compuestos. Éstos pueden afectar los organismos individualmente o en combinaciones de dos o más, así en el último caso el efecto puede ser antagónico, sinérgico o neutral (Rao, 1982; Zechmeister et al, 2007).

Entre los factores que influyen el grado de daño están: distancia a la fuente de polución, el factor de exposición (concentración x tiempo), naturaleza del sustrato, refugio, pH, precipitación, estadio de desarrollo, potencial reproductivo y hábito de las especies (Chopra y Kumra, 2005).

Según la revisión de Poikolainen (2004) los contaminantes del aire son depositados en los musgos en soluciones acuosas, gaseosas o adheridos a

partículas y la acumulación de estos ocurre debido a diferentes mecanismos como: capas de partículas en la superficie de las células, incorporación a las membranas celulares a través de intercambios iónicos e incorporación a las células debido a transporte controlado por estas.

La intensidad, la cantidad y la duración de las lluvias afecta considerablemente la cantidad de contaminantes que son acumulados por los briofitos, así incrementos en la precipitación, específicamente cuando las lluvias son ácidas, se correlacionan con una mayor presencia de metales pesados al interior de estos, debido a que una alta proporción de contaminantes llega a estos organismos arrastrados por el agua (Rao, 1982; Brown, 1982).

Una vez que aparece un determinado contaminante se espera que en un primer momento se presente un deterioro a nivel fisiológico (daños en el aparato fotosintético), luego, aparecen cambios morfológicos observables y en algunos casos se da la desaparición o la aparición de algunas especies en el ecosistema (Falla et al, 2000).

Efectos de los óxidos de azufre en los briofitos

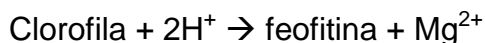
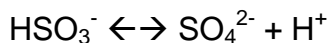
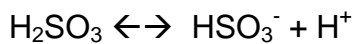
Probablemente el gran efecto del SO_2 sobre los briofitos se deba al hecho de que es altamente soluble en agua y a la naturaleza poiquilohídrica de estas criptógamas (Soria, sf). La exposición a este contaminante tiene efectos negativos en la fotosíntesis, el crecimiento y la supervivencia de los organismos (Vanderpoorten y Goffinet, 2009).

Concentraciones diferentes de SO_2 causan daños diferentes en los epífitos que parecen estar más o menos directamente relacionados con la concentración del contaminante (LeBlanc y Rao, 1973). Generalmente la exposición a este gas causa la pérdida del color verde por parte de los briofitos (Chopra y Kumra, 2005). Así, según la revisión de Rao (1982) en cualquier concentración se observan

puntos cafés en los cloroplastos, y a partir de 5 ppm se da plasmólisis en las células de *Ortotrichum lyellii*, *O. diaphanum* y *Radula complanata*.

Cuando se hacen trasplantes de briofitos epífitos con la corteza incluida desde zonas no contaminadas hasta zonas con alta concentración de SO₂ se observa que estos se dañan gravemente o mueren y, microscópicamente se ven plasmólisis y daños en la clorofila (LeBlanc y Rao, 1973). Es así como la hepática foliosa *Radula complanata* cambia su color con 10 minutos de exposición y sus cloroplastos se desintegran cuando se exponen a una concentración de 120 ppm de SO₂ (Coker, 1967).

Las reacciones desencadenadas por la presencia de SO₂ en el ambiente son, según Rao y LeBlanc (1966) las siguientes:



Según Rao (1982) El SO₂ absorbido por los tejidos de la planta aumenta la concentración de iones H⁺ libres, estos desplazan los iones Mg²⁺ de la molécula de clorofila degradándola y convirtiéndola en feofitina a. La degradación irreversible de la clorofila debida a la oxidación causada por el HSO₃⁻, junto a la presencia de una solución hipertónica de ácidos sulfúrico y sulfuroso son las que conllevan a la plasmólisis de los contenidos celulares (Soria, sf) y evitan la posterior recuperación de los briófitos cuando las fuentes contaminantes son eliminadas.

Según Rao y LeBlanc (1966) cuando hay mucha humedad un aumento en la concentración de SO₄²⁻ en los tejidos implica una tasa mayor de absorción de SO₂ y por ende una mayor absorción de iones H⁺ lo que conllevará alteraciones irreversibles en la función y estructura de la célula. Además la presencia de lluvia

ácida (SO_2) puede reducir la cantidad de Mg^{2+} disponible lavando las deposiciones secas de este mineral afectando la tasa de síntesis de clorofila (Vanderpoorten y Goffinet, 2009).

Trabajos como el realizado por Zechmeister y Honenwallner (2006) en Austria manifiestan que concentraciones altas de SO_2 explican una disminución en la distribución de los briófitos hasta 1997.

Efectos de los óxidos de nitrógeno en los briofitos

El dióxido de nitrógeno es uno de los principales óxidos de nitrógeno que son producidos en reacciones de combustión, como las que se presentan cuando los automóviles están en movimiento (Nash, 1976).

A diferencia del SO_2 , la concentración de este gas ha aumentado durante las pasadas décadas debido a la gran cantidad de granjas, producción de fertilizantes, quema de combustibles fósiles, entre otros; causando la eutroficación del ambiente (Vanderpoorten y Goffinet, 2009). Este incremento puede observarse en el estudio realizado por Woolgrove y Woodin (1996) en Bidean nan Bian (Escocia) en el cual el contenido de nitrógeno en ejemplares de herbario de *Kiaeria starkei* aumentó al doble en el transcurso del siglo XX. El trabajo de Wilson et al (2008) en Sur África analiza muestras de tejido de 9 especies de musgos en herbario que fueron colectadas entre 1875 y 2000 y el tejido de muestras tomadas en campo entre el 2001 y el 2002 y concluye que la concentración de nitrógeno en las hojas aumenta para todas las especies.

En concentraciones bajas el nitrato es asimilado rápidamente; sin embargo, en ambientes contaminados, la cantidad de este compuesto que llega debido a la precipitación puede exceder el necesario para el crecimiento de los briófitos (Morgan et al, 1992) y por lo tanto muchas especies pueden verse desplazadas de

sus hábitats nativos por otras más nitrofilicas, debido al fenómeno de competencia (Bobbink et al, 1998).

Los efectos en el aumento de NO_2 y NH_x atmosférico son casi siempre indirectos (Vanderpoorten y Goffinet, 2009) y dependen de las condiciones abióticas, principalmente de la capacidad “buffer” del sustrato (Bobbink et al, 1998).

Los efectos más importantes de la deposición de nitrógeno son: Acumulación de compuestos nitrogenados que resulta en mayor disponibilidad de nitrato y amonio, acidificación del sustrato, mayor susceptibilidad a efectos secundarios causados por el estrés (Bobbink et al, 1998), cambios en la composición de las comunidades y cambios en la tasa de crecimiento (Mitchell et al, 2004).

La ausencia de raíces y de sistema vascular, hace que los briófitos sean particularmente sensibles a los excesos de nitrógeno, debido a que dependen en gran medida de los suministros atmosféricos para adquirir los nutrientes; al absorber estos a través de sus superficies no pueden regular la cantidad de suministros que toman y por tanto un exceso en la deposición de nitrógeno puede afectarlos rápidamente, generalmente cuando los niveles de este mineral en los tejidos son altos se inhibe la actividad de la nitrato reductasa (NR), pueden presentarse daños en la membrana celular y por lo tanto el crecimiento de los briófitos se ve disminuido (Jones et al, 2002).

Métodos de bioindicación en Briofitos

Existen dos métodos principales para hacer análisis de bioindicación con briofitos: directos e indirectos. El primer método, se basa en la medición de la concentración de los contaminantes en los tejidos de los organismos en experimentos de exposición, o incluso en la medición de sustancias relacionadas con situaciones de estrés (como por ejemplo la relación entre pigmentos fotosintéticos y la cantidad de enzimas presentes involucradas en los procesos de eliminación de los contaminantes, ver: Cao et al, 2009; Wilson et al, 2009; Tretiach et al, 2007).

El segundo método (indirecto) detecta como la variación en los atributos de las comunidades, por ejemplo: la composición de especies, la abundancia y la biodiversidad, pueden ser explicados por cambios en las condiciones ambientales (Glime, 2007). Este método supone que a medida que hay un acercamiento a una gran ciudad o a una zona industrial, el número de especies y su cobertura disminuirán, y se presentará pérdida de la vitalidad e inhibición de la reproducción sexual debido a la presencia de altos niveles de contaminantes en el aire (Rao, 1982).

Numerosos estudios han sido realizados empleando el método indirecto; algunos ejemplos son:

Gilbert (1968) en Tyne, Inglaterra, estableció un transecto de 11 millas comenzando una milla abajo del centro en el sentido del viento y moviéndose en dirección noroccidental. Dicho transecto fue dividido en 11 secciones uniformes y en cada una de ellas se evaluaron los briofitos que crecían en determinados hábitats estandarizados. Su trabajo mostró que la diversidad de los briofitos disminuía en cada hábitat, llegando incluso a un poco menor que un tercio en el centro de la ciudad comparado con las zonas rurales encontradas al final del transecto.

En 1970, Daly estableció un transecto semicircular desde la zona central de Christchurch, Nueva Zelanda, hacia la parte oeste una distancia de 11 millas, se muestrearon árboles, paredes de piedra y suelos. El resultado del estudio mostró que tanto el número de especies de líquenes como briófitos disminuía a medida que se acercaban a zonas con mayor concentración de SO₂. La cobertura de muchas especies disminuyó cuando se encontraban en las zonas más contaminadas y una vez que desaparecían las especies sensibles al SO₂, otras podían incluso aumentar su cobertura.

Stringer y Stringer (1974) muestrearon los líquenes y briófitos en seis árboles en 168 puntos en Winnipeg intentando que se conservaran características físicas y

químicas bastante similares en la corteza y el diámetro; los resultados del estudio mostraron que la cobertura de epífitos disminuye a medida que se acercan al centro de la ciudad y concluyen que esto puede deberse a la aridez y a la presencia de numerosos contaminantes.

Roda (1979) escogió en el área metropolitana de Barcelona 40 estaciones de muestreo caracterizadas por la presencia de *Prunus dulcis*, y determinó la distribución de epífitas, la abundancia, el I.P.A (índice de Pureza Atmosférica) y el número de especies en cada estación. El autor encontró después de realizar un análisis de componentes principales que la desaparición que la variación en la vegetación epífita está determinada por el gradiente de contaminación y a medida que esta aumentó las especies epífitas desaparecieron.

Lee *et al.* (2004) en Seoul (Corea) muestrearon comunidades de musgos en lugares cercanos a las 25 estaciones de medición de los contaminantes de aéreos y encontraron que los niveles de SO₂ afectan la composición de las comunidades halladas.

Otros ejemplos de bioindicación indirecta con briofitos pueden ser encontrados en (Krommer *et al.*, 2007; Larsen *et al.*, 2007; Friedel y Müller, 2004). Todos estos estudios muestran que es posible realizar bioindicación indirecta con briofitos asumiendo la relación entre altos niveles de contaminación y la pérdida de diversidad y cobertura en especies sensibles.

Índice de Pureza Atmosférica

La estimación del Índice de Pureza Atmosférica (I.P.A. o I.A.P por sus siglas en inglés) corresponde a un acercamiento a los análisis de bioindicación indirectos con briofitos y se basa en la estimación de la calidad del aire de una zona determinada a partir de la composición de las especies epífitas de dicho lugar (Vanderpoorten y Goffinet, 2009).

El I.P.A. fue propuesto por Le Blanc y De Sloover (1970) y expresa un número que está directamente relacionado con la riqueza de la vegetación epífita, debido a que estos autores creían que dicha vegetación estaba directamente relacionada con la calidad del aire. El cálculo original del I.P.A se definía como:

$$I.P.A = \sum_1^n \frac{(Q \times f)}{10}$$

Q: Índice ecológico de cada especie. Se calcula sumando el promedio de las especies epífitas acompañantes de dicha especie en las estaciones

f: Valor dado en la escala de cobertura.

n: Número de especies en cada estación

La división por 10 es con el fin de obtener un número manejable.

Una vez que se ha determinado el I.P.A de cada una de las estaciones muestreadas durante el estudio, se procede a ubicar cada uno de estos en un mapa y aquellos que tengan un I.P.A con valores cercanos se unen con líneas, con el fin de observar a través de la frecuencia de especies epífitas las zonas más, medianamente y menos contaminadas, partiendo de la hipótesis de que a medida que aumenta la contaminación disminuye la frecuencia y/o cobertura de briofitas epífitas.

Otros autores como Trass (1973) propusieron diferentes índices, para el acercamiento a la bioindicación, como el Índice de Polución (I.P.) basándose en el conocimiento de la tolerancia de las especies a los contaminantes:

$$I.P. = \sum_1^n \left(\frac{a_i C_i}{C_i} \right)$$

Dónde:

n: Número de especies

a_i : Índice de especies expresando el grado de tolerancia a los contaminantes ($1 \leq a_i \leq 10$)

c_i : El grado de cobertura de la especie ($1 \leq c_i \leq 10$)

C_i : El número total de especies que se encuentran en la estación

Sin embargo, aunque ninguno de los dos índices se libra de la subjetividad del investigador; el segundo ha sido menos utilizado debido a que la determinación del coeficiente de tolerancia a los contaminantes requiere una fase de estudio previa con el fin de proponer la escala de tolerancia para las especies locales (Falla et al, 2000).

REDAIRE y Calidad del aire en el valle de aburrá

La Red de Vigilancia de la Calidad del Aire (REDAIRE) fue establecida en 1992 y actualmente cuenta con la participación interinstitucional de: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CORANTIOQUIA, IDEAM, CORNARE, Secretaría del Medio Ambiente del Municipio de Medellín y las Universidades: Pontificia Bolivariana, de Antioquia, Nacional de Colombia - Sede Medellín, el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y de Medellín.

Es un sistema que pretende brindar información de la calidad del aire en el Valle de Aburrá de manera eficiente y regular. Para monitorear la calidad del aire se busca conocer la evolución de las concentraciones de los contaminantes, las tendencias y la manera como se comportan las variables meteorológicas que participan de forma directa en la mezcla y dispersión de los contaminantes (Toro y Marín, 2007).

En octubre de 2010, se midió PM₁₀ (Material Particulado menor de 10 micras) en 17 estaciones fijas de Redaire (Barbosa, Copacabana, Universidad de Antioquia, Parque San Antonio, Universidad de Medellín, Politécnico Colombiano JIC, Itagüí, La Estrella, Girardota, Bello, Miguel de Aguinaga, Universidad Nacional Facultad de Minas, CORANTIOQUIA, Ditaires, Sabaneta, Caldas y Planta de Tratamiento

de Aguas Residuales EPM), se midió PM_{2.5} en cuatro estaciones (Miguel de Aguinaga, Politécnico Colombiano JIC, Universidad Ces, Diataires), monóxido de carbono en tres estaciones fijas (Miguel de Aguinaga, Universidad Ces, Diataires) y tres estaciones móviles (Barrio Belén Las Mercedes, Centro, INDESA), ozono en tres estaciones (Universidad CES, Diataires y la estación móvil), condiciones meteorológicas en 5 estaciones (Girardota, Facultad de Minas Universidad Nacional, Politécnico Colombiano JIC, Universidad CES, Diataires) y NO₂ y SO₂ en cuatro estaciones (Miguel de Aguinaga, Facultad de Minas Universidad Nacional, Politécnico Colombiano JIC, Itagüí) (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2010). Los informes de Redaire pueden ser consultados en línea en su página web (<http://www.unalmed.edu.co/redaire/>) así como en Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2010)

Bedoya y Martinez describen de la siguiente manera la calidad del aire en el Valle de Aburrá:

Los valores de concentración de material particulado total (PST) se registran por encima de 100 Rg/m³ en los sectores centrales del valle que ocupa Medellín y los municipios adosados urbanísticamente, es decir Bello, Itagüí, Envigado y Sabaneta. Los niveles promedio de material particulado en los municipios más periféricos, del área metropolitana, es decir, Barbosa, Girardota, Copacabana y La Estrella son, en general, más bajos (50 – 80 Rg/m³) en comparación con los municipios que conforman el gran bloque urbano central del área metropolitana (100 – 120Rg/m³)

Las concentraciones de NO_x en el área metropolitana varían desde 2 hasta 90 Rg/m³, con un promedio de 39.2 en el periodo estudiado. Los Óxidos de Nitrógeno no se miden en todas las estaciones de la red metropolitana, tal como se hace con las partículas en suspensión total. Las estaciones en las universidades han puesto mayor atención en este contaminante; aunque el registro fue un tanto irregular al principio, en los últimos años la continuidad y confiabilidad de los datos mejoró notablemente. Para los últimos 7 años se observa una leve tendencia al ascenso,

con valores que se inician en 35 – 38 Rg/m³ y que avanzan en el transcurso hasta 45-50 Rg/m³. Las curvas de comportamiento de la concentración de NO_x en relación con el tiempo son similares para las diversas estaciones estudiadas, al igual que la magnitud y la tendencia de los valores. Las oscilaciones cíclicas temporales son algo erráticas e irregulares, en comparación con los ciclos más uniformes que se registran para el material particulado.

Las concentraciones promedio de SO_x en el área metropolitana varían desde 0.1 hasta 50.6 Rg/m³, con un promedio de 10.3. Al igual que los Óxidos de Nitrógeno, los Óxidos de Azufre (SO_x) no se registran sistemáticamente en la misma medida en la cual se registra el material particulado total. Las estaciones de la Universidad Nacional y del Politécnico ofrecen las series que aportan registros un poco más regulares. Los valores registrados se encuentran por debajo de 20 Rg/m³, lo cual se plantea como valores poco confiables en términos de la sensibilidad del método químico que analiza su concentración. Las variaciones cíclicas de los Óxidos de Azufre son irregulares y erráticas como ocurre con los Óxidos de Nitrógeno, pero son similares para las 3 estaciones que registran este contaminante, lo cual aporta sentido de consistencia y fiabilidad de los datos. La tendencia de este contaminante es a la estabilidad o bien al ascenso moderado, al menos en el transcurso de los últimos años los valores varían con marcadas oscilaciones alrededor de 10-15 Rg/m³.

Los datos de la formación de Ozono en la atmósfera se colectan en forma muy limitada. La estación de Guayabal es una de las pocas estaciones bien implementadas y completas del área metropolitana y reporta datos desde el año 2003. Lo que además se hace preocupante es el nivel de concentración de los contaminantes, los cuales registran valores muy altos con respecto a las ciudades de Europa y Norteamérica. Los promedios superan los referentes internacionales de alerta y se sitúan muy por encima de los niveles que la Organización Mundial de la Salud ha proclamado como los umbrales de precaución para el cuidado de la salud de la población.

En este mismo contexto, en el estudio de Zapata et al (2008), se reporta que los dióxidos de azufre y nitrógeno no sobrepasaron la Norma Colombiana Anual, pero en 12 estaciones de monitoreo se superó el valor guía de la OMS para dióxido de nitrógeno. Los niveles de ozono muestran la formación de este contaminante en las zonas de ladera y en 9 estaciones se sobrepasó la Norma Colombiana Anual para benceno y todas las estaciones superaron la Guía de la OMS. Las mayores tasas de sedimentación de partículas se obtuvieron en los sitios de monitoreo influenciados por actividades de construcción y mantenimiento de vías.

4. HIPÓTESIS

Si los briofitos epífitos de *Fraxinus chinensis* son sensibles a la contaminación atmosférica en el valle de Aburrá, entonces su riqueza y abundancia será menor en los sitios de mayor contaminación y mayor en los sitios de menor contaminación.

5. OBJETIVOS

a. General

Determinar el IPA (Índice de Pureza Atmosférica) en las zonas urbanas del área metropolitana del Valle de Aburrá, mediante la composición y estructura de los briofitos epífitos y relacionarlo con la calidad del aire monitoreada por Redaire, y reconocer especies de briofitos indicadoras de la calidad del aire que permitan un biomonitoreo.

b. Específicos

Determinar la riqueza de la brioflora epífita en *Fraxinus chinensis* en los alrededores de las estaciones de monitoreo de Redaire.

Determinar la distribución y abundancia de la brioflora epífita *Fraxinus chinensis* en los alrededores de las estaciones de monitoreo de Redaire.

Contrastar el I.P.A. con los monitoreos químicos de la calidad del aire realizados por Redaire en cada una de sus estaciones.

Reconocer especies de briofitos epífitas de *Fraxinus chinensis* indicadoras de la calidad del aire.

Aportar un conocimiento básico, pero relevante, que facilite las tareas de biomonitoreo con los briofitos epífitos *Fraxinus chinensis* indicadores de la calidad del aire.

6. MÉTODOS

a. Descripción del área

El Valle de Aburrá está ubicado en la Cordillera Central Colombiana en el Departamento de Antioquia entre las cuencas del río Magdalena y el río Cauca a una altitud de promedio de 1.538 m.s.n.m., su latitud está entre los 5° 25' y los 8° 55' Norte. Tiene una extensión de 1.152 km² que conforman una parte de la cuenca del Río Medellín. De esta área, 165.2 km² (15.3%) son áreas urbanas; el resto de los usos del suelo se distribuye en: bosques (13%), pastos (31.7%), matorrales (14.3%), áreas degradadas (0.7%) y otros (25%). La población estimada, según la Gobernación de Antioquia para el censo de 2005, es de 3'312.175 habitantes en el Área Metropolitana (DANE, 2006). La estructura geográfica del valle se encuentra determinada por el río Medellín, así como por sus diversos afluentes; su topografía es irregular y de altas pendientes con valores que van desde los 1.300 hasta 2.800 m.s.n.m. y presenta una temperatura media anual de 22°C con valores máximos de 32° C y mínimos de 14 °C a lo largo del

año. Esta diversidad de alturas, da lugar a la presencia de numerosos ecosistemas y microclimas (ver Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2011a).

Actualmente, la zona urbana del Valle de Aburrá está conformada por una metrópoli casi continua que recorre diez municipios (Caldas, La Estrella, Sabaneta, Itagüí, Envigado, Medellín, Bello, Copacabana, Girardota y Barbosa), desigualmente desarrollados y caracterizados por una alta degradación ambiental, física, económica y social (ver Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2011b).



Figura1. Localización del área de estudio (tomado de Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2011a).

b. Diseño muestral:

La metodología general de muestreo, siguió la propuesta de LeBlanc y De Sloover (1970) como se describe a continuación:

Selección de especie de árbol.

Se seleccionó a *Fraxinus chinensis* (Urapán) como forofito para la medición de la riqueza y cobertura de briofitos epifitos, puesto que es una especie común en el Valle de Aburrá (aproximadamente 12.802 individuos en el Valle de Aburrá según el censo de Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007). Solo fue muestreada esta especie, debido a que estudios previos han mostrado un efecto especie-específico de la riqueza y cobertura de briofitos incluso en condiciones ecológicas muy similares (ver Rao, 1982; Hohbohm, 1998; Zechmeister y Honenwallner, 2006). No se prescindió de los ejemplares inclinados ni ramificados desde baja altura puesto que Roda (1979), mostro que muchas veces los árboles rectos eran más pobres en cobertura y riqueza de briofitos.

Estaciones de muestreo.

Fueron escogidas las estaciones de monitoreo del aire del Área Metropolitana del Valle de Aburrá que se encontraban dentro del programa RedAire y en las cuales fue posible encontrar individuos de *Fraxinus chinensis* máximo a 2 km a la redonda (ver tabla 1).

Tabla 1. Estaciones de muestreo.

Estación	Individuo	Georeferenciación
UPB	Árbol 1	N 06°14.466' W 075°35.391'
	Árbol 2	N 06°14.475' W 075°35.384'
	Árbol 3	N 06°14.466' W 075°35.381'
	Árbol 4	N 06°14.456' W 075°35.384'
	Árbol 5	N 06°14.456' W 075°35.384'
	Árbol 6	N 06°14.552' W 075°35.388
	Árbol 7	N 06°14.562' W 075°35.388'

	Árbol 8	N 06°14.566' W 075°35.392'
Sabaneta (Alcaldía Municipal)	Árbol 1	N 06°09.076' W 075°36.956'
	Árbol 2	N 06°09.067' W 075°36.968'
	Árbol 3	N 06°09.016' W 075° 36.767'
Barbosa (Hospital San Vicente de Paul)	Árbol 1	N 06°26.269' W 075°19.978'
	Árbol 2	N 06° 26.237' W 075°19.925'
Girardota (Liceo José Manuel Sierra)	Árbol 1	N 06°22.767' W 075° 26.570'
	Árbol 2	N 06°22.768' W 075°26.568'
	Árbol 3	N 06°22.768' 075°26.574'
	Árbol 4	N 06°22.767' W 075°26.569'
	Árbol 5	N 06°22.762' W 075°26.584'
	Árbol 6	N 06°22.759' W 075°26.583'
	Árbol 7	N 06°22.770' W 075°26.583'
Envigado (Hospital Manuel Uribe Ángel)	Árbol 1	N 06°10.360' W 075°34.807'
	Árbol 2	N 06°10.351' W 075°34.807'
	Árbol 3	N 06°10.361' W 075°34.801'
	Árbol 4	N 06°10.373' W 075°34.801'
Itagüí (Colegio el Rosario)	Árbol 1	N 06°10.164' W 075°36.307
	Árbol 2	N 06°10.165' W 075°36.307°
	Árbol 3	N 06°10.168' W 075°36.300'
	Árbol 4	N 06°10.171' W075°36.294'
	Árbol 5	N 06°10.188' W 075°36.276'
CORANTIOQUIA	Árbol 1	N 065°15.037' W 075°34.839'

	Árbol 2	N 065°15.008' W 075°34.877'
	Árbol 3	N 06°15.006' W 075°34.879'
	Árbol 4	N 06°14.987' W 075°34.881'
	Árbol 5	N 06°14.986' W 075°34.895'
Centro (Edificio Miguel de Aguinaga)	Árbol 1	N 06°15.239' W 075°34.270'
	Árbol 2	N 06°15.243' W 075°34.271'
	Árbol 3	N 06°15.253' W 075°34.276'
	Árbol 4	N 06°15.258' W 075°34.279'
Bello	Árbol 1	N 06°19.879' W 075°33.904'
	Árbol 2	N 06°19.878' W 075°33.923'
	Árbol 3	N 06°19.876' W 075°33.917'
	Árbol 4	N 06°19.873' W 075°33.919'
Facultad de Minas, Universidad Nacional	Árbol 1	N 06°16.281' W 075°35.274'
	Árbol 2	N 06°16.290' W 075°35.273'
	Árbol 3	N 06°16.290' W 075°35.274'
	Árbol 4	N 06°16.271' W 075°35.274'
	Árbol 5	N 06°16.291' W 075°35.275'
Universidad de Antioquia	Árbol 1	N 06°19.879' W 075°33.904'
	Árbol 2	N 06°19.878' W 075°33.923'
	Árbol 3	N 06°19.876' W 075°33.917'
	Árbol 4	N 06°19.873' W 075°33.919'
La Estrella (Estación de Policía)	Árbol 1	N 06°09.700' W 075°39.086'
	Árbol 2	N 06°09.703' W 075°39.086'

	Árbol 3	N 06°09.704' W 075°39.086'
	Árbol 4	N 06°09.702' W 075°39.085'
Politécnico JIC	Árbol 1	N 06°12.621' W 075°34.598'
	Árbol 2	N 06°12.619' W 075°34.598'
	Árbol 3	N 06°12.617' W 075°34.601'
	Árbol 4	N 06°12.610' W 075°34.601'
Ditaires (Itagüí)	Árbol 1	N 06°10.305' W 075°37.602'
	Árbol 2	N 06°10.306' W 075°37.607'
	Árbol 3	N 06°10.307' W 075°37.588'
	Árbol 4	N 06°10.301' W 075°37.592'
	Árbol 5	N 06°10.309' W 075°37.573'

Medición de la cobertura de las especies de briofitos epífitos.

El tronco de cada árbol fue examinado minuciosamente, desde aproximadamente 40 cm partiendo de la base hasta 2 m de altura. Muestras de cada una de las especies de briofitos halladas, fueron colectadas para su posterior identificación a partir de las claves propuestas por Churchill y Linares (1995), Gradstein et al (2001), así como la comparación con ejemplares contenidos en la colección del Herbario de la Universidad de Antioquia (HUA) y en el Herbario Nacional de Colombia (COL). Puesto que la determinación exacta de la cobertura de cada especie de briofito no puede ser establecida de forma precisa, se usó una escala arbitraria de 1 a 5, para estimar su cobertura. De esta manera, el valor 5 fue dado a la epífita más frecuente y que presentó la mayor cobertura en la estación de muestreo; 4 fue asignado a una especie frecuente y que presentó alto nivel de cobertura en muchos árboles; así sucesivamente hasta el valor de 1 que fue dado a la especie más rara y con menor cobertura. De esta misma manera, se asignó

un número a la cobertura de los briofitos epifito hallado en cada individuo de Urapán por estación de muestreo.

c. Análisis de la información.

Para cada estación se calculó el Índice de Pureza Atmosférica (I.P.A.) a partir de la siguiente relación:

$$I.P.A = \sum_1^n \frac{(Q \times f)}{10}$$

Dónde:

Q= Índice ecológico de cada especie. Se calcula sumando el promedio de las especies epífitas acompañantes de dicha especie en las estaciones

f= Valor dado en la escala de cobertura.

n= Número de especies en cada estación

La división por 10 es con el fin de obtener un número manejable.

7. RESULTADOS

En total se muestrearon 64 individuos de Urapán y fue posible identificar 12 morfo especies de briofitos epifitos en *F. chinensis* en el área de estudio. Las estaciones de muestreo CORANTIOQUIA y Facultad de Minas Universidad Nacional de Colombia, presentaron la mayor diversidad de especies (ocho), mientras que en Barbosa solo fue posible encontrar una especie.

Los valores del I.P.A. variaron entre 2,15 (Barbosa) y 12,33 (La Estrella) como se muestra en la tabla 2 y en la figura 2. A partir de los índices ecológicos calculados por especie (ver tabla 3), se observa que *Odontoschisma* sp. y *Sematophyllum subpinnatun* fueron las especies más tolerantes, mientras que *Campylopus* sp fue la menos tolerante junto con *Syntrichia amphidiacea* y *Microlejeunea* sp.

Se encontró alta heterogeneidad en la presencia de especies y su cobertura en el mismo punto de muestreo. La tabla 4 muestra las diferencias en la composición de especies de briofitos epífitos y su cobertura entre individuos de Urapán, en las estaciones Girardota, CORANTIOQUIA y Facultad de Minas Universidad Nacional. Se observa por ejemplo en Girardota, que en los individuos cinco y siete fue posible encontrar seis especies de briofitos epífitos, mientras que en el individuo tres no se encontró cobertura alguna. De igual manera en esta misma estación, *Fabronia ciliaris* obtuvo cinco puntos de cobertura en los individuos uno, cinco y seis; cuatro puntos en el individuo siete y una puntuación teórica de cero en los individuos dos, tres y cuatro.

Fue posible encontrar diferencias en la composición de especies en algunas estaciones de muestreo entre los periodos lluviosos de 2010 y 2011 como se muestra en la tabla 5. Fue así como en la estación CORANTIOQUIA, se encontraron cinco especies en 2010 y ocho especies en 2011; en la estación Universidad de Antioquia, se encontró una especie adicional en año 2011 comparado con el 2010 y en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional se encontraron dos especies más en 2011.

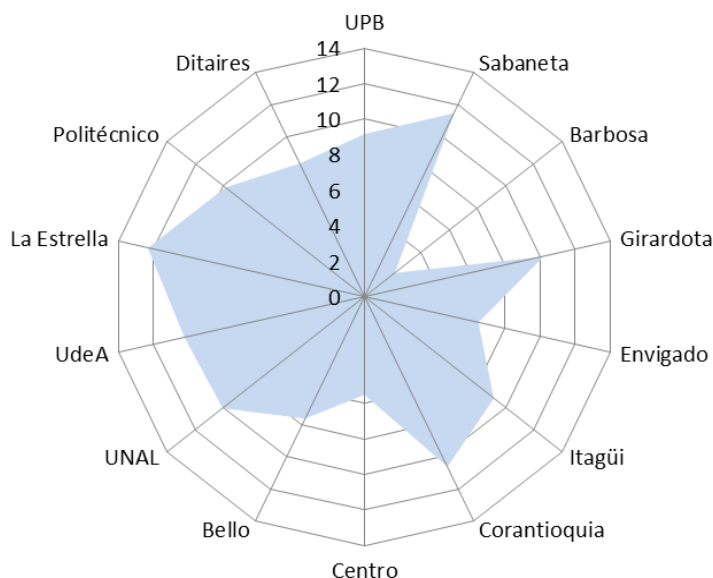


Figura 2. Valores del I.P.A. en el área de estudio

Se realizó una zonificación del área de estudio, basándose en seis intervalos del I.P.A como se muestra en la tabla 5 y la figura 3. La estación de muestreo que presentó la mayor contaminación expresada en términos de menor riqueza de briofitos fue Barbosa, seguida por el Centro; en la estación de muestreo Envigado se encontró un nivel medio de contaminación y la estación de menor contaminación fue La Estrella. La mayoría de estaciones de muestreo (siete) se ubicaron en la zona de contaminación muy baja.

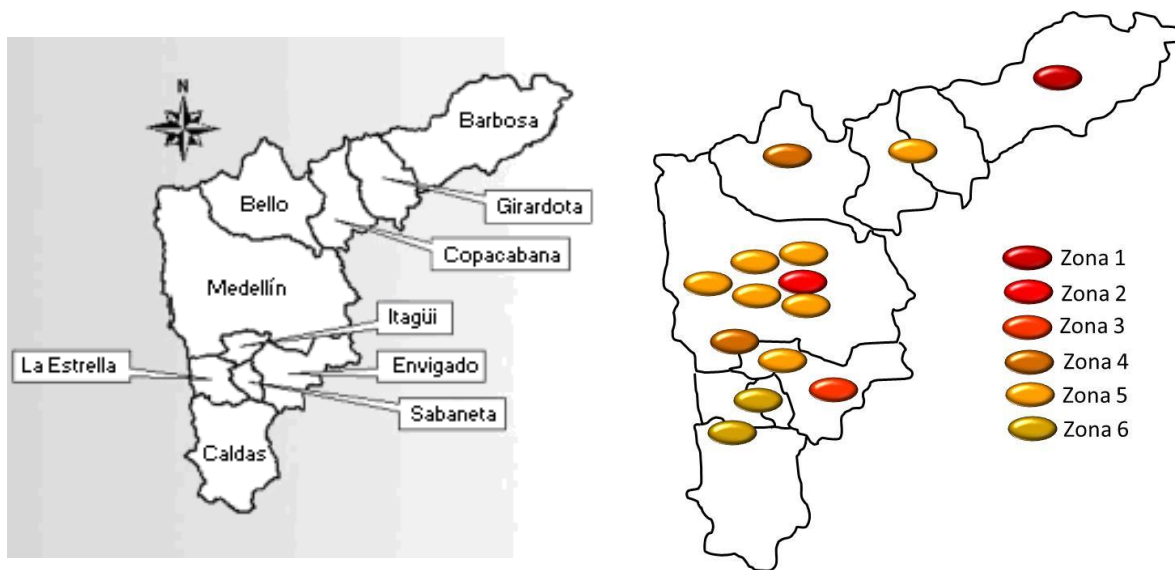


Figura 3. Zonificación del área de estudio a partir del I.P.A.

Tabla 2. Escala de cobertura de Briofitos e Índice de Pureza Atmosférica (I.P.A) por estación de muestreo.

Especie	Estación													
	UPB	Sabaneta	Barbosa	Girardota	Envigado	Itagüi	Corantioquia	Centro	Bello	UNAL	UdeA	La Estrella	Politécnico	Ditaires
<i>Sematophyllum subpinnatum</i>	4	4		3	5	4	1	3	3	3	3	5	2	3
<i>Odontoschisma</i> sp.	5		5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	4
<i>Cephalozia</i> sp.	5	4		5		5	5			4	5	4	5	4
<i>Fabronia ciliaris</i>	3	3		4	3	3	5	4	2	2	2		5	
<i>Lejeunea boryana</i>	2	3		3	1	1	1		4	4	4	4	1	4
<i>Bryum argenteum</i>		1												
<i>Syntrichia amphidiacea</i>		4								1				
<i>Microlejeunea</i> sp.		2								1				
<i>Frullania bogotensis</i> .				1		1	1		2	1	2	4		2
<i>Campylopus</i> sp.							1							
Ditrichaceae afín a <i>Rhamphidium dicranoides</i>							2						2	
<i>Macrocoma frigida</i>												4		
I.P.A	9,16	11,47	2,15	10,19	6,48	9,18	10,61	5,51	7,60	10,06	10,25	12,33	9,87	8,32

Tabla 3. Índice Ecológico (Q) por especie.

Morfoespecie	Índice Ecológico (Q)
<i>Campylopus</i> sp.	7
<i>Syntrichia amphidiacea</i>	6,5
<i>Microlejeunea</i> sp.	6,5
<i>Bryum argenteum</i>	6
Ditrichaceae afín a <i>Rhamphidium dicranoides</i>	6
<i>Cephalozia</i> sp.	5,3
<i>Frullania</i> sp.	5,25
<i>Lejeunea</i> sp.	5
<i>Macrocoma frigida</i>	5
<i>Fabronia ciliaris</i>	4,82
<i>Sematophyllum subpinnatum</i>	4,77
<i>Odontoschisma</i> sp.	4,31

Tabla 4. Variación de la escala de cobertura de Briofitos en una misma estación de muestreo.

Estación	Individuo	Especie Briofito	Escala de Cobertura
Girardota	Árbol 1	<i>Fabronia ciliaris</i>	5
		<i>Sematophyllum subpinnatum</i>	4
		<i>Lejeunea boryana</i>	3
		<i>Odontoschisma</i> sp.	5
		<i>Cephalozia</i> sp.	5
Girardota	Árbol 2	<i>Odontoschisma</i> sp.	5
		<i>Cephalozia</i> sp.	5
		<i>Lejeunea boryana</i>	3
		Sin cobertura	
Girardota	Árbol 4	<i>Odontoschisma</i> sp.	5
		<i>Cephalozia</i> sp.	5
		<i>Lejeunea boryana</i>	2
		<i>Sematophyllum subpinnatum</i>	2
		<i>Frullania</i> sp.	1
Girardota	Árbol 5	<i>Odontoschisma</i> sp.	4
		<i>Cephalozia</i> sp.	4
		<i>Lejeunea boryana</i>	5

		<i>Fabronia ciliaris</i>	5
		<i>Sematophyllum subpinnatum</i>	3
		<i>Frullania sp.</i>	1
	Árbol 6	<i>Sematophyllum subpinnatum</i>	3
		<i>Lejeunea boryana</i>	3
		<i>Fabronia ciliaris</i>	5
		<i>Odontoschisma sp.</i>	4
		<i>Cephalozia sp.</i>	5
	Árbol 7	<i>Lejeunea boryana</i>	3
		<i>Fabronia ciliaris</i>	4
		<i>Frullania sp.</i>	1
		<i>Sematophyllum subpinnatum</i>	4
		<i>Odontoschisma sp.</i>	5
		<i>Cephalozia sp.</i>	5
CORANTIOQUIA	Árbol 1	<i>Lejeunea boryana</i>	1
		<i>Fabronia ciliaris</i>	5
		<i>Sematophyllum subpinnatum</i>	2
		<i>Odontoschisma sp.</i>	5
		<i>Cephalozia sp.</i>	5
	Árbol 2	<i>Sematophyllum subpinnatum</i>	1
		<i>Fabronia ciliaris</i>	5
		<i>Odontoschisma sp.</i>	5
		<i>Cephalozia sp.</i>	5
	Árbol 3	<i>Odontoschisma sp.</i>	5
		<i>Cephalozia sp.</i>	5
		<i>Sematophyllum subpinnatum</i>	1
		<i>Fabronia ciliaris</i>	5
	Árbol 4	<i>Sematophyllum subpinnatum</i>	2
		<i>Fabronia ciliaris</i>	5
		<i>Lejeunea boryana</i>	1
		<i>Odontoschisma sp.</i>	5
		<i>Cephalozia sp.</i>	5
		Musgo Ditrichaceae	3
		afín a <i>Rhamphidium dicranoides</i>	1

		Musgo Morfo 3	
Facultad de Minas, Universidad Nacional	Árbol 1	<i>Frullania</i> sp.	2
		<i>Fabronia ciliaris</i> <i>Cephalozia</i> sp. <i>Syntrichia amphidiacea</i> <i>Sematophyllum subpinnatum</i> <i>Lejeunea boryana</i> <i>Odontoschisma</i> sp.	5 5 1 3 2 5
	Árbol 2	<i>Fabronia ciliaris</i> <i>Sematophyllum subpinnatum</i> <i>Cephalozia</i> sp. <i>Odontoschisma</i> sp. <i>Frullania</i> sp.	5 5 5 5 1
	Árbol 3	<i>Cephalozia</i> sp. <i>Odontoschisma</i> sp. <i>Sematophyllum subpinnatum</i>	5 5 2
	Árbol 4	<i>Cephalozia</i> sp. <i>Odontoschisma</i> sp. <i>Sematophyllum subpinnatum</i> <i>Frullania</i> sp.	5 5 1 1
	Árbol 5	<i>Lejeunea boryana</i> <i>Frullania</i> sp. <i>Sematophyllum subpinnatum</i> <i>Microlejeunea</i> sp.	5 2 5 4

Tabla 5. Variación en la composición de especies de algunas estaciones de muestreo en las épocas de lluvia de 2010 y 2011.

Estación	Especie	
	2010	2011
CORANTIOQUIA	<i>Odontoschisma</i> sp. <i>Fabronia ciliaris</i> <i>Sematophyllum subpinnatum</i> <i>Microlejeunea</i> sp. <i>Lejeunea boryana</i>	<i>Odontoschisma</i> sp. <i>Fabronia ciliaris</i> <i>Sematophyllum subpinnatum</i> <i>Lejeunea boryana</i> <i>Cephalozia</i> sp. <i>Frullania</i> sp. Musgo Ditrichaceae afín a <i>Rhamphidium dicranoides</i>
Universidad de Antioquia	<i>Odontoschisma</i> sp. <i>Fabronia ciliaris</i> <i>Sematophyllum subpinnatum</i> <i>Lejeunea boryana</i> <i>Cephalozia</i> sp.	<i>Odontoschisma</i> sp. <i>Fabronia ciliaris</i> <i>Sematophyllum subpinnatum</i> <i>Lejeunea boryana</i> <i>Cephalozia</i> sp. <i>Frullania</i> sp.
Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia	<i>Odontoschisma</i> sp. <i>Fabronia ciliaris</i> <i>Sematophyllum subpinnatum</i> <i>Lejeunea boryana</i> <i>Cephalozia</i> sp. <i>Microlejeunea</i> sp.	<i>Odontoschisma</i> sp. <i>Fabronia ciliaris</i> <i>Sematophyllum subpinnatum</i> <i>Lejeunea boryana</i> <i>Cephalozia</i> sp. <i>Frullania</i> sp. <i>Microlejeunea</i> sp. <i>Syntrichia amphidiacea</i>

Tabla 6. Zonificación del I.P.A

Límite inferior	Límite superior	Tipo de contaminación
2,14	3,85	I Mayor contaminación encontrada
3,86	5,54	II Contaminación alta
5,55	7,24	III Contaminación media
7,25	8,94	IV Contaminación baja
8,95	10,63	V Contaminación muy baja
10,64	12,34	VI Menor contaminación encontrada

Tabla 7. Zonificación de las estaciones de muestreo.

Estación	I.P.A.	Zonificación
Barbosa	2.15	I
Centro	5.51	II
Envigado	6,48	III
Bello	7,60	IV
Ditaires	8,32	IV
UPB	9,15	V
Itagüí	9,18	V
Politécnico JIC	9,87	V
Facultad de Minas Universidad Nacional	10,06	V
Girardota	10,19	V
UdeA	10,25	V
CORANTIOQUIA	10,61	V
Sabaneta	11,47	VI
La Estrella	12,33	VI

8. DISCUSIÓN

La mayor diversidad de especies encontrada en la estación Facultad de Minas Universidad Nacional, puede deberse al efecto favorable del microclima que proporciona la quebrada que cruza el campus y los demás árboles que sombrean algunos de los Urapanes muestreados. En el mismo sentido, la estación CORANTIOQUIA correspondió a un parque en el costado occidental de la Plaza de Toros La Macarena, donde existe un alto flujo vehicular y se encontró un número de especies igual a la Facultad de Minas (Ocho). Aunque ambas estaciones presentaron una especie única en ella (ver tabla 2), no son claras las razones que favorecen la alta diversidad de especies en CORANTIOQUIA.

El menor valor del I.P.A. encontrado en la estación Barbosa pudo deberse al número de individuos de *F. chinensis* allí muestreados (dos), uno de ellos en el que se encontró solo *Odontoschisma* sp y otro en el cual no fue posible hallar briofitos. Por esto, se hace necesario realizar muestreos adicionales de otras especies arbóreas diferentes del Urapán en todas las estaciones de muestreo (muestreando la misma especie en todos los lugares) para corroborar las tendencias de la calidad del aire mostradas en el presente trabajo, así como para determinar si el Urapán presente briófitos suficientemente sensibles que puedan ser usados como bioindicadores.

Los cambios en la composición de especies observadas entre los periodos lluviosos de 2010 y 2011, indican que existe una dinámica compleja y desconocida de la comunidad de briofitos epífitos, por lo tanto para generar conclusiones sobre biomonitoreo pasivo (que se basa principalmente en la presencia o ausencia de especies y los cambios en sus coberturas) así como de especies bioindicadoras se requiere de estudios durante varios años consecutivos.

En cuanto a las especies encontradas, (asumiéndose que su presencia y cobertura están relacionadas con los niveles de contaminación presentes en los diferentes puntos de muestreo), se cumple para *Odontoschisma* sp. (especie presente en 13 de los 14 puntos muestreados) lo propuesto por Gilbert (1968) quién afirmaba que las especies que producen un alto número de esporas y/o gemas y poseen una alta tasa de propagación vegetativa, sobreviven en las áreas contaminadas; pues en las muestras colectadas de dicho morfo siempre se observaron numerosos propágulos vegetativos adheridos a las hojas y libres en la placa de observación.

En nuestro estudio, la estación correspondiente al centro de Medellín (Miguel de Aguinaga) presentó el segundo menor valor del I.P.A. después de Barbosa. Estos resultados se relacionan con lo descrito por Toro et al. (2001), quienes afirman que el centro de la ciudad es la zona más afectada por la contaminación generada por el tráfico vehicular. En este mismo sentido, Giraldo y Toro (2008) resaltan que es preocupante el crecimiento acelerado del parque automotor por las motocicletas y que sean pocas las herramientas para controlar la contaminación que estas están generando en la ciudad. Si bien los resultados mostrados por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en el 2010 son controversiales como se mostrará más adelante en esta sección, la estación Miguel de Aguinaga, presentó el mayor valor promedio en las concentraciones de NO₂ (ver tabla 8), situación que se relaciona con el menor valor del I.P.A. Aunque, la estación Facultad de Minas de la Universidad Nacional presentó también altas concentraciones de NO₂, los resultados de este estudio mostraron que en esta estación se encontró la mayor riqueza de especies y se ubicó en una zona de contaminación muy baja. Así mismo, las estaciones Politécnico Colombiano JIC y Colegio El Rosario (Itagüí), en las cuales se encontraron concentraciones de NO₂ de 34 y 37 µg/m³ respectivamente, se ubicaron en las zonas de contaminación muy baja. Por lo tanto, no fue posible encontrar una tendencia clara entre la concentración del NO₂ y el I.P.A.

Tabla 8. Concentración de SO₂ y NO₂ en las estaciones de monitoreo de REDAIRE durante 2010 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2010)

Estación	Edificio Miguel de Aguinaga		Facultad de Minas UNAL		Politécnico Colombiano JIC		Colegio El Rosario (Itagüí)	
	SO ₂	NO ₂	SO ₂	NO ₂	SO ₂	NO ₂	SO ₂	NO ₂
Promedio aritmético	1	45	1	42	1	34	1	37
Valor máximo diario, en µg/m ³	4	71	3	91	5	95	5	89
Valor mínimo diario, en µg/m ³	0	19	0	11	0	4	0	11

El Área Metropolitana en el 2010 calcula para cada una de las estaciones de muestreo de Redaire, el Índice de Calidad del Aire (ICA). A partir de estos datos se elaboró la figura 4, en la cual se muestra la distribución porcentual de los rangos del ICA para cada estación de muestreo. Se observa que el ICA varió al interior de una misma estación de muestreo, puesto que en los datos originales este índice varió a lo largo del año. Así mismo, la figura cuatro muestra que ninguna estación de muestreo obtuvo 100% en ninguno de los rangos del ICA. La estación de muestreo Barbosa (en el presente estudio obtuvo el menor valor del I.P.A. y que se ubicó en la zona de mayor contaminación encontrada) presentó una mayor porcentaje de observaciones en el rango de buen ICA. De igual manera, la estación La Estrella obtuvo también un alto porcentaje de observaciones en el rango de buen ICA, situación que se relaciona con el mayor valor de I.P.A. obtenido en el presente estudio. Sin embargo, Ramírez et al. (2008) encontraron para las estaciones Sabaneta y La Estrella, la mayor concentración de metales pesados a partir de bioacumulación entre las estaciones de Redaire. Por otro lado en las estaciones Politécnico y Ditaires se observó la mayor frecuencia de observaciones de ICA inadecuado, lo cual contrasta con la zonificación dada en esta trabajo de contaminación muy baja y baja

respectivamente. Estas diferencias en la correspondencia de la caracterización de la calidad del aire entre los diferentes estudios muestra lo dinámico y complejo de la problemática de la contaminación del aire en el Valle de Aburrá y puede ser causada entre otras razones por las diferencias en la localización exacta de las estaciones de muestreo (por ejemplo en el presente estudio donde fue aceptable individuos de Urapán a dos km a la redonda de las estaciones de Redaire) y de los rangos utilizados para describir la calidad del aire.

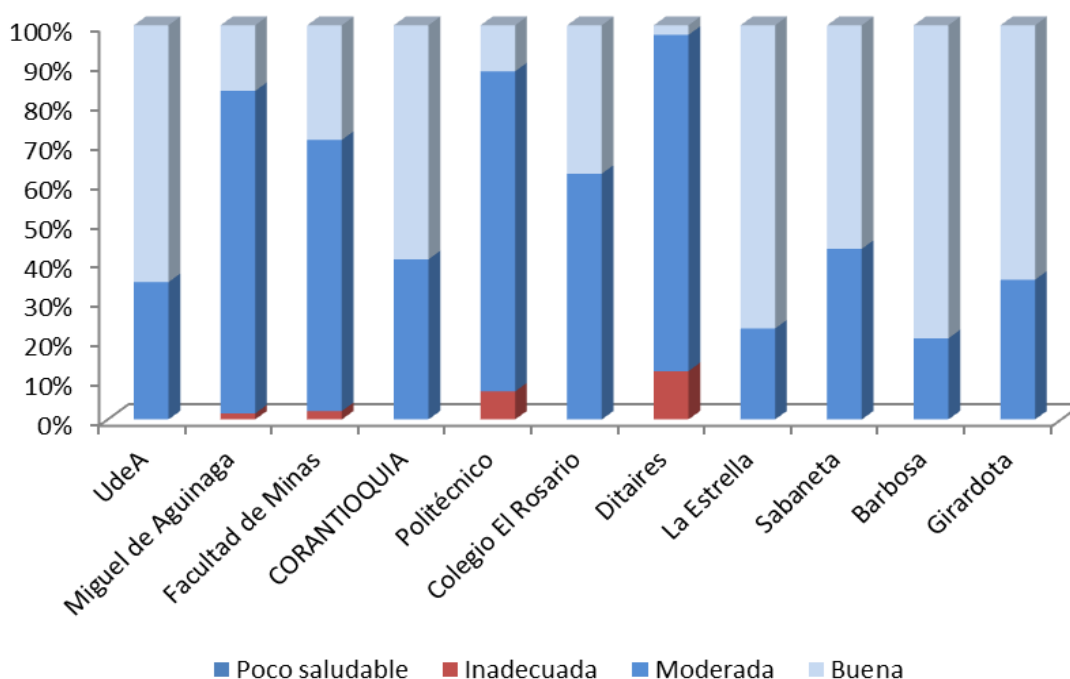


Figura 4. Distribución del Índice de Calidad del Aire por estación de REDAIRE durante 2010 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2010)

Según los resultados obtenidos en este trabajo, en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, la distribución y la riqueza de los briófitos parece corresponder más a factores microclimáticos presentes en los lugares donde se ubican los árboles en las diferentes estaciones, que al índice de calidad del aire propuesto por REDAIRE. Las diferencias en la composición de la brioflora de árbol a árbol dentro de una misma estación (ver tabla 4), impiden que los árboles sean tomados como réplicas y más bien cada uno debe considerarse como un individuo con características particulares; por ejemplo, en la Facultad de Minas de la

Universidad Nacional, los urapanes cercanos a la quebrada que fluye por la zona presentaron mayor riqueza y cobertura de las diversas especies comparados con los ubicados al lado de la carrera 80 en esta misma estación de muestreo. Esto concuerda con el trabajo de Dymytrova (2009) en Kyiv (Ucrania) quien concluye que la mayor riqueza se presenta en parques y árboles viejos sin perturbaciones considerables.

La imposibilidad de trabajar con ejemplares de Urapán que estuviesen completamente aislados dentro de cada estación, las diferencias de altura entre las diversas estaciones, la variación en las condiciones microclimáticas entre estas (por ejemplo, los Urapanes encontrados en Bello, Ditaires, Envigado, dos ejemplares de la Facultad de Minas, se encontraban cercanos a quebradas; mientras que en Girardota, colegio El Rosario, Miguel de Aguinaga, los árboles hacían parte de parques lo cual los protege en gran medida de la contaminación que se registra en las estaciones), hace que el Índice de Pureza Atmosférica esté altamente afectado en cada una de las estaciones y probablemente no debería compararse entre una estación y otra basándose en este valor, pues sus creadores LeBlanc y De Sloover (1970) y posteriormente Falla (2000) y Zechmeister et al. (2006) fueron enfáticos en la sensibilidad de este índice a los diversos factores ecológicos. Por otro lado, otros estudios (Jaramillo y Botero, 2009; Roda, 1979; Carballal y García, 1991) han comparado valores de I.P.A., aún cuando las condiciones ecológicas varían dentro y entre las estaciones y se han atrevido a dar conclusiones.

Aseverar que la riqueza y la frecuencia son iguales dentro de las estaciones tampoco parece ser algo acertado así, definir un valor único de I.P.A.. para puntos de muestreo como: la Universidad de Antioquia, la Facultad de Minas de la Universidad Nacional, el Politécnico Jaime Isaza Cadavid, la Universidad Pontificia Bolivariana; entre otros, que son áreas bastante amplias y en las cuales los urapanes que allí se encuentran están sometidos a diferentes situaciones de estrés (algunos se encuentran cercanos a avenidas con alto flujo vehicular, otros

están resguardados en parques dentro de los campus; otros se encuentran sombreados y en grupo y unos últimos están expuestos a mucho sol y aislados) no es muy informativo. Es así como el estudio realizado por Rubiano y Chaparro (2006) dentro de la Universidad Nacional en Bogotá refleja como dentro de una misma estación los valores del I.P.A. varían y pueden establecerse zonas de contaminación máxima, alta, moderada y baja.

La zonificación calculada a partir del I.P.A. en estudios fitosociológicos como el actual es arbitraria y puede dar origen a errores conceptuales de la caracterización de la calidad del aire. Por un lado, porque muchos de los estudios (por ejemplo el presente) tienen dificultades para definir una estación de control, es decir, un lugar de condiciones ecológicas similares a las de las áreas intervenidas que se pretende estudiar, pero en la cual se considere que existen aún condiciones de suficiente diversidad y baja contaminación. Por otro lado, porque se parte para la zonificación de una contaminación mínima encontrada, la cual en ciertos casos podría ser una contaminación alta, pero que se escapa al análisis del investigador al no poseer grupo control como se mencionó anteriormente.

Existen estudios que describen y analizan la calidad del aire en el Valle de Aburrá (Toro y Marín, 2007; Área Metropolitana, 2010;) y otros en los que se puede encontrar planes y estrategias de mejoramiento del monitoreo del aire, así como posibles maneras de descontaminación (Toro et al, 2010; Gil, 2010).

Sin embargo, mientras exista un crecimiento poblacional descontrolado y acelerado, formas de producción insostenibles y un estilo de vida masivamente aceptado alejado del respeto por la calidad del ambiente, seguirá existiendo un escenario de degradación continua de los recursos, entre ellos el aire, y un deterioro de la calidad de vida y salud de cada uno de los seres vivos que habitan el Valle de Aburrá.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. 2007. Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes Urbanos de la Región Metropolitana del Valle de Aburrá. Parte 2. Área Metropolitana del Valle de Aburrá , Medellín.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. 2010. Evaluación de los niveles de contaminación en las zonas del Valle de Aburrá, Convenio Marco de Asociación No. 543 de 2008. Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Universidad Nacional de Colombia.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. 2011a. Nuestro territorio en: <<http://www.metropol.gov.co/contenidos.php?seccion=14>>. Fecha de consulta: Mayo 9 de 2011.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. 2011b. Presentación en: <<http://www.metropol.gov.co/contenidos.php?seccion=13>>. Fecha de consulta: Mayo 9 de 2011.

Bedoya J. Martínez E. 2008. Calidad del Aire en el Valle de Aburrá - Antioquia-Colombia. *Dyna*. 158:7-15.

Bobbink R. Hornung M. Roelofs JGM. 1998. The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. *Journal of Ecology*. 86:717-738.

Brown DH. 1982. Mineral nutrition. Pp. 386-444. *En: Smith AJE (ed). Bryophyte Ecology*. Chapman and Hall. Londres. Inglaterra.

Cao T. Wang M. An L. Yu Y. Lou Y. Guo S. Zuo B. Liu Y. Wu J. Cao Y. 2009. Air quality for metals and sulfur in Shanghai, China. determined with moss bags. *Environmental Pollution*. 157:1270–1278.

Carballal R, García A. 1991. Valoración de la contaminación atmosférica por SO₂ en la zona de Ferrol-Fene (La Coruña) mediante líquenes epífitos. *Acta Botánica Malacitana*, 16(1):197-206.

Cardona. J. G. 2007. Aire de Antioquia. *El Reto*. 68:35-41.

- Chopra RN. Kumbra PK.** 1988. *Biology of Bryophytes*. Primera edición. New Age International Publishers. Nueva Delhi, India.
- Coker PD.** 1967. The effects of sulphur dioxide pollution on bark epiphytes. *Transactions of the British Bryological Society*. 5:341-347.
- Conti ME. Cecchetti G.** 2001. Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review. *Environmental Pollution*. 114:471-292.
- Daly GT.** 1970. Bryophyte and lichen indicators of air pollution in Christchurch. New Zealand. *Proceedings of the New Zealand Ecological Society*. 17:70-79.
- Davis D. McClenahan JR. Hutnik RJ.** 2001. Use of an epiphytic moss to biomonitor pollutant levels in southwestern Pennsylvania. *Northeastern Naturalist*. 8:379-392.
- Dymytrova L.** 2009. Epiphytic lichens and bryophytes as indicators of air pollution in Kyiv city (Ukraine). *Folia Cryptogamica Estonica*, 46:33-44
- Falla J. Laval-Gilly P. Henryon M. Morlot D. Ferard JF.** 2000. Biological Air Quality Monitoring: A review. *Environmental Monitoring and Assessment*. 64:627-644.
- Friedel A. Müller F.** 2004. Bryophytes and lichens as indicators for changes of air pollution in the Serrahn Natural Forest Reserve (Mueritz National Park). *Herzogia*. 17:29-286.
- Gil LC.** 2010. Resolución 909 de 2008: una normativa para mejorar la calidad del aire en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. *Producción + limpia*, 5(1):27-38.
- Gilbert OL.** 1968. Bryophytes as indicators of air pollution in the Tyne Valley. *New Phytologist*. 67:15-30.
- Glime J M.** 2007. *Bryophyte Ecology*. Michigan Technological University e International Association of Bryologists. <<http://www.bryoecol.mtu.edu/>>. Fecha de consulta: 12 de marzo de 2010.
- Giraldo WA, Toro MV.** 2008. Estimación de la emisión de contaminantes por motocicletas en el Valle de Aburrá. *Dyna*, 75(156):241-250.
- Hawksworth DL. Iturriaga T. Crespo A.** 2005. Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de Micología*; 22:71-82

- Hohbohm, C.** 1998. Epiphytische Kryptogamen und pH-Wert – ein Beitrag zur ökologischen Charakterisierung von Borkenoberflächen. *Herzogia* 13:107–111.
- Krommer V. Zechmeister HG. Roder I. Scharf S. Hanus-Ilmar A.** 2007. Monitoring atmospheric pollutants in the biosphere reserve Wienerwald by a combined approach of biomonitoring methods and technical measurements. *Chemosphere*. 67:1956–1966
- Larsen RS. Bell JNB. James PW. Chimonides PJ. Rumsey FJ. Tremper A. Purvis OW.** 200. Lichen and bryophyte distribution on oak in London in relation to air pollution and bark acidity. *Environmental Pollution*. 146:332-340.
- LeBlanc F, Rao DN.** 1973. Effects of Sulphur Dioxide on lichen and moss transplant. *Ecology*. 54(3):612-617.
- LeBlanc F, De Sloover J.** 1970. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Canadian Journal of Botany*, 48:1485-1496.
- Lee J. Johnson-Green P. Ju Lee E.** 2004. Correlation between environmental conditions and the distribution of mosses exposed to urban air pollutants. *Water, Air, and Soil Pollution*. 153:293–305.
- McGeoch M. A.** 1998. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological Reviews*. 73:181-201
- Mitchell RJ. Sutton MA. Truscott AM. Leith ID. Cape JN. Pitcairn CER. Van Dijk N.** 2004. Growth and tissue nitrogen of epiphytic Atlantic bryophytes: effects of increased and decreased atmospheric N deposition. *Functional Ecology*. 18:322-329.
- Mistry J.** 1998. Corticolous Lichens as Potential Bioindicators of Fire History: A Study in the Cerrado of the Distrito Federal, Central Brazil. *Journal of Biogeography*. 25(3):409-441.
- Morgan SM. Lee JA. Ashenden TW.** 1992. Effects of nitrogen oxides on nitrate assimilation in bryophytes. *New Phytologist*. 120:89-97.
- Nash TH.** 1976. Sensivity of Lichens to Nitrogen Dioxide Fumigations. *The Bryologist*, 79(1):103-106.

- Oguntimehin I. Kondo H. Sakuga H.** 2010. The use of Sunpatiens (*Impatiens* spp.) as a bioindicator of some simulated air pollutants – Using an ornamental plant as bioindicator. *Chemospher*, 81:273-281.
- Poikolainen J.** 2004. Mosses. Epiphytic lichens and tree bark as biomonitors for air pollutants – specifically for heavy metals in regional surveys. Tesis. Facultad de Ciencias. Universidad de Oulu. Oulu. República de Finlandia.
- Rao DH. LeBlanc F.** 1966. Effects of Sulphur Dioxide on the Lichen Alga. with Special Reference to Chlorophyll. *The Bryologist*, 69(1):69-75.
- Rao DH.** 1982. Responses of Bryophytes to Air Pollution. Pp.445-471. *En: Smith AJE (ed). Bryophyte Ecology.* Chapman and Hall. Londres. Inglaterra.
- Roda F.** 1979. Epífitos y contaminación atmosférica en los alrededores de Sabadell (Catalunya). *Mediterránea*, 3:23-68.
- Ramírez M, Oviedo JC, Salazar S, Giraldo W.** 2008. Biomonitorio de metales pesados empleando herramientas del SIG en el Valle de Aburrá. *Investigaciones Aplicadas*, 3:7-14.
- Rubiano LJ, Chaparro M.** 2006. Delimitación de áreas de isocontaminación atmosférica en el campus de la Universidad Nacional de Colombia mediante el análisis de bioindicadores (Líquenes epífitos), *Acta biológica Colombiana*, 11(2):82-102.
- Stringer PW. Stringer MHL.** 1974. Air Pollution and the Distribution of Epiphytic Lichens and Bryophytes in Winnipeg. Manitoba. *The Bryologist*, 77:405-426.
- Soria A.** sin fecha. Ensayo para una caracterización de Briofitos como indicadores de urbanización mediante el estudio de la brioflora de ciudades españolas. Tesis de Doctorado. Departamento de Biología Vegetal I. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.
- Toro MV. Ramirez JJ. Quiceno RA. Zuluaga CA.** 2001. Cálculo de la emisión vehicular de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Medellín mediante factores de emisión Corinair. *Revista ACODAL* 191:42-49.
- Tingey DT.** 1989. Bioindicators in Air Pollution Research – Applications and Constraints. Pp. 73-78. *En: Committee on Biologic Markers of Air-Pollution in trees*

- Damage in Trees (eds). *Biologic Markers of Air Pollution Stress and Damage in Forests*. National Academy Press. Washington. Estados Unidos de América.
- Toro MV, Marín AV.** 2007. Programa para el mejoramiento de la calidad del aire en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá Contrato 158 de 2005. *Producción + Limpia*, 2(2):7-22.
- Toro MV, Molina E, Serna J, Fernández M, Ramírez GE.** 2010. Plan de descontaminación del aire en la región metropolitana del Valle de Aburrá. *Producción + Limpia*, 5(1):10-26.
- Tretiach M. Adamo P. Bargagli R. Baruffo L. Carletti L. Crisafulli P. Giordano S. Modenesi P. Orlando S. Pittao E.** 2007. Lichen and moss bags as monitoring devices in urban areas. Part I: Influence of exposure on simple vitality. *Environmental Pollution*, 146:380-391.
- Trass H.** 1973. Lichen sensitivity to air pollution and index of poléotolerance. *Folia Cryptogamica Estonica*, 3:19–22.
- Vanderpoorten A. Goffinet B.** 2009. *Introduction to Bryophytes*. Primera edición. Cambridge University Press. Reino Unido.
- Wilson D. Sotck WD. Hedderson T.** 2008. Historical nitrogen content of bryophyte tissue as an indicator of increased nitrogen deposition in the Cape Metropolitan Area. South Africa. *Environmental Pollution*, 157:938–945
- Woolgrove CE. Woodin SJ.** 1996. Current and historical relationships between the tissue nitrogen content of a snowbed bryophyte and nitrogenous air pollution. *Environmental Pollution*, 91(3):283-288.
- Wolterbeek B.** 2002. Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives. *Environmental Pollution*, 120:11–21
- Zechmeister HG. Honenwallner D.** 2006. A Comparison of Biomonitoring Methods for the Estimation of Atmospheric Pollutants in an industrial town in Austria. *Environmental Monitoring and Assessment*, 117:245-259.
- Zechmeister HG. Dirnböck T. Hülber K. Mirtl M.** 2007. Assessing airborne pollution effects on bryophytes – lessons learned through long-term integrated monitoring in Austria. *Environmental Pollution*, 147:696-705

10. ANEXOS

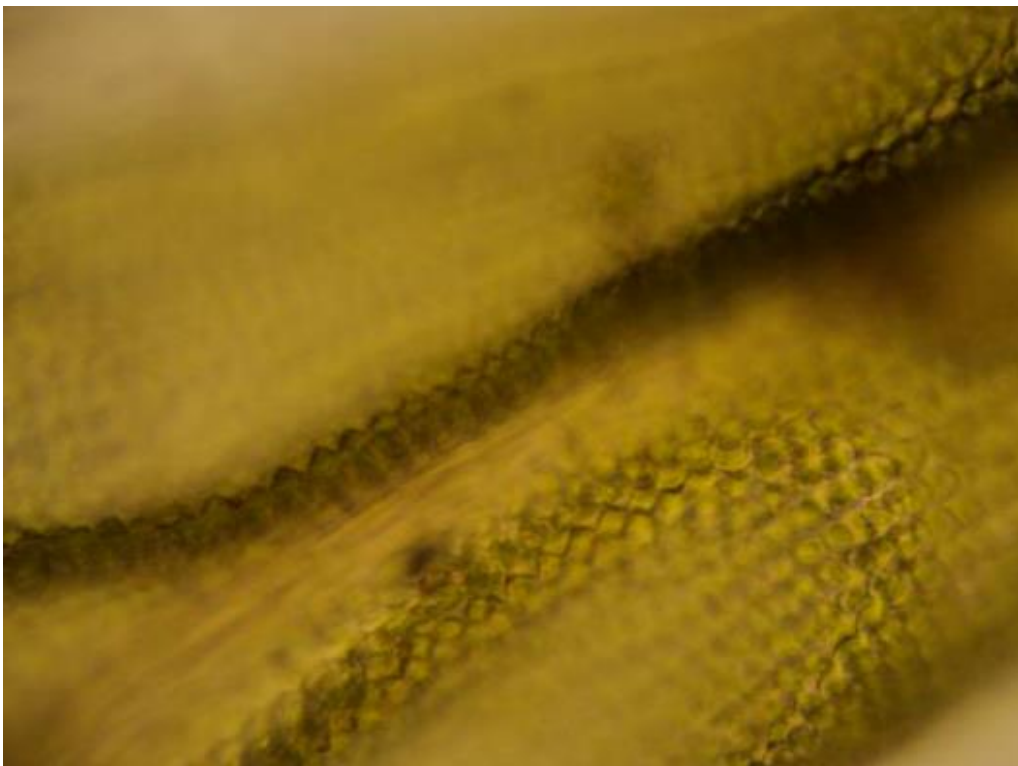
Anexo 1. Lista de familias y especies de los briofitos epífitos encontrados en *Fraxinus chinensis* en el valle de Aburrá

Familia	Especie
Sematophyllaceae	<i>Sematophyllum subpinnatum</i>
Cephaloziaceae	<i>Odontoschisma</i> sp.
Cephaloziaceae	<i>Cephalozia</i> sp.
Fabroniaceae	<i>Fabronia ciliaris</i>
Lejeuneaceae	<i>Lejeunea boryana</i>
Bryaceae	<i>Bryum argenteum</i>
Pottiaceae	<i>Syntrichia amphidiacea</i>
Lejeuneaceae	<i>Microlejeunea</i> sp.
Frullaniaceae	<i>Frullania bogotensis</i> .
Dicranaceae	<i>Campylopus</i> sp.
Ditrichaceae	afín a <i>Rhamphidium dicranoides</i>
Macromitriaceae	<i>Macrocoma frigida</i>

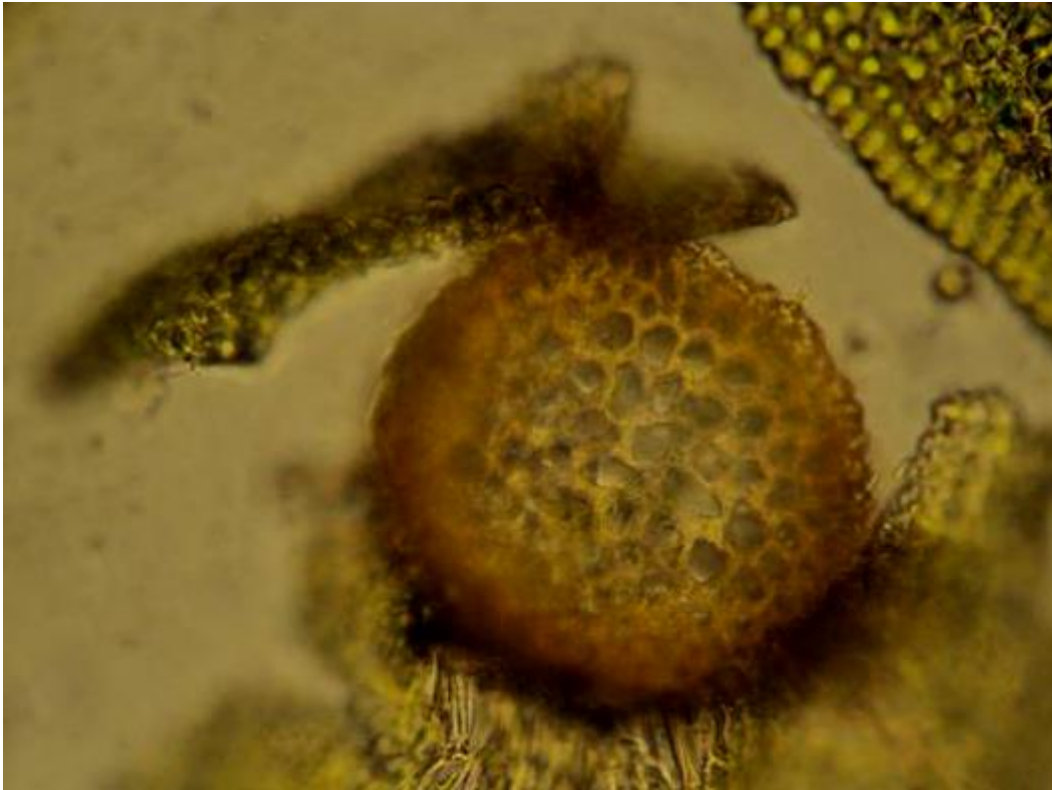
Anexo 2. Fotografías de algunas especies de briofitos epífitos encontrados en *Fraxinus chinensis* en el valle de Aburrá.



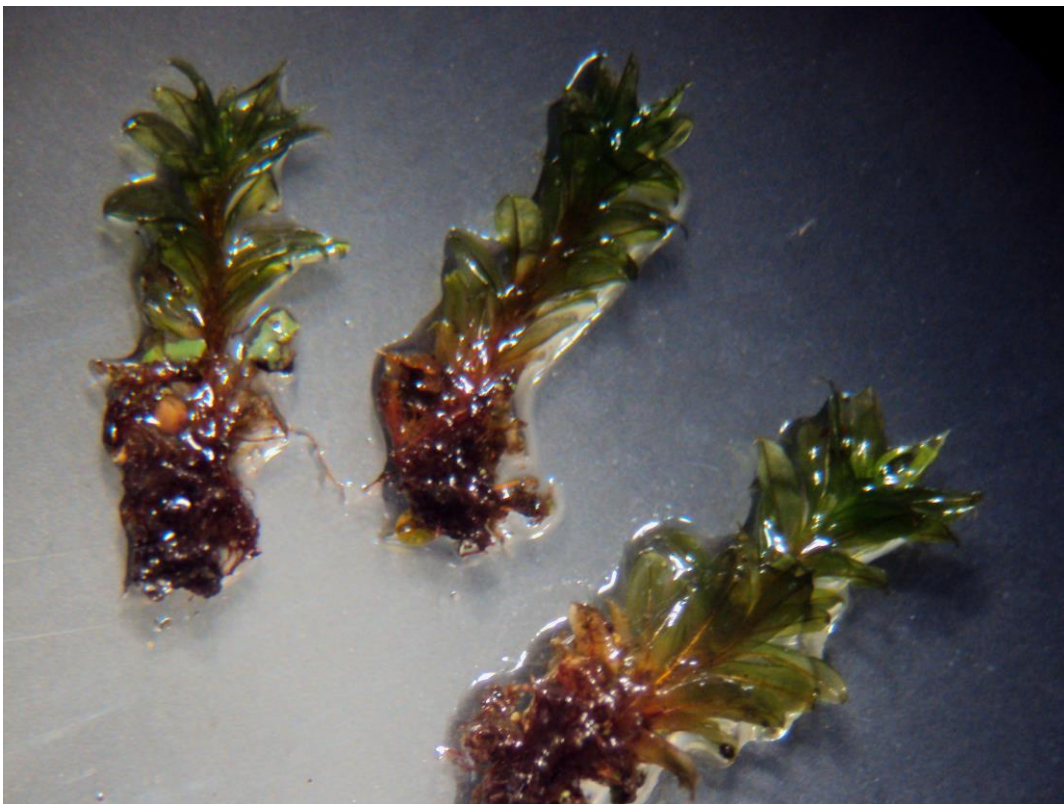
Hábito de crecimiento en *Macrocoma frigida*



Detalle de papilas en la costa de *Macrocoma frigida*



Corte transversal del tallo en *Macrocoma frigida*



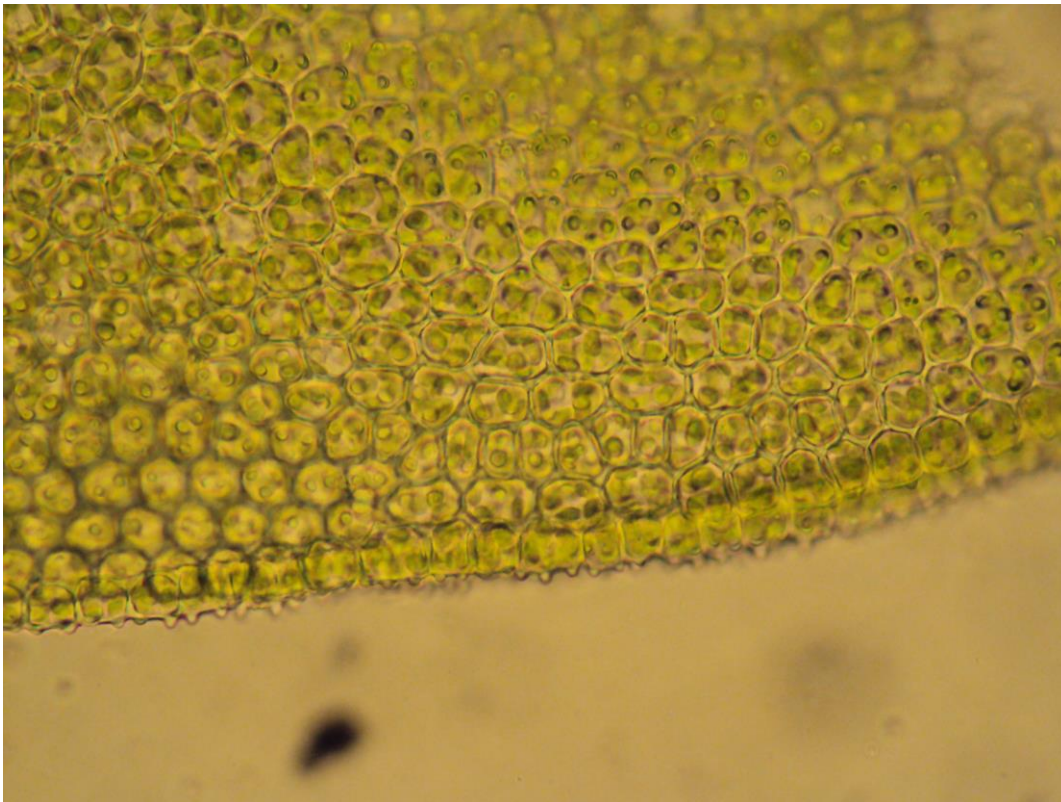
Hábito de crecimiento en *Syntrichia amphidiacea*



Detalle de la hoja de *Syntrichia amphidiacea*



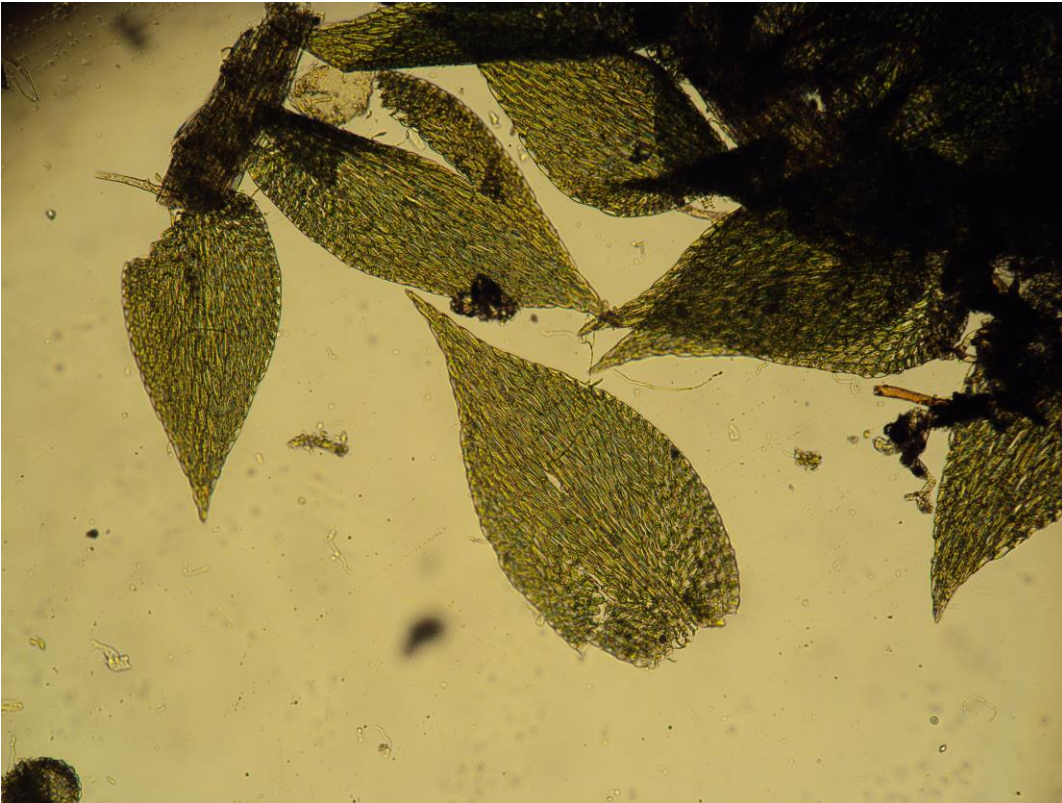
Corte transversal del tallo de *Syntrichia amphidiacea*



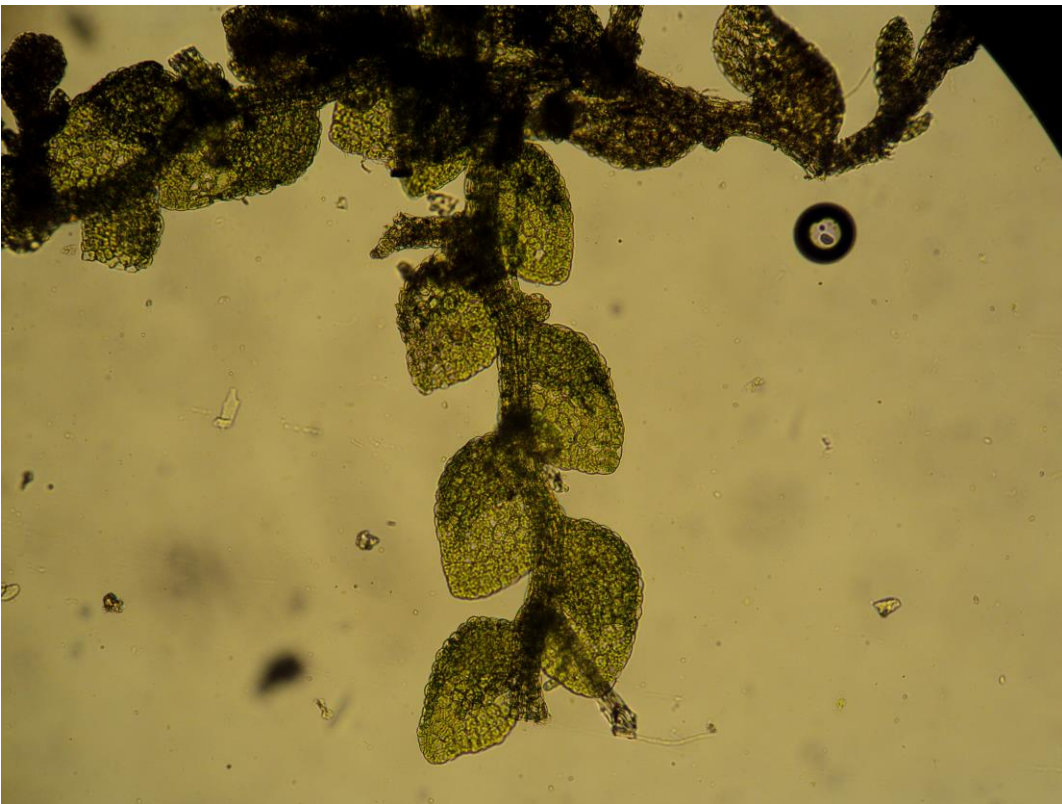
Detalle de las papilas de *Syntrichia amphidiacea*



Hábito de crecimiento en *Fabronia ciliaris*



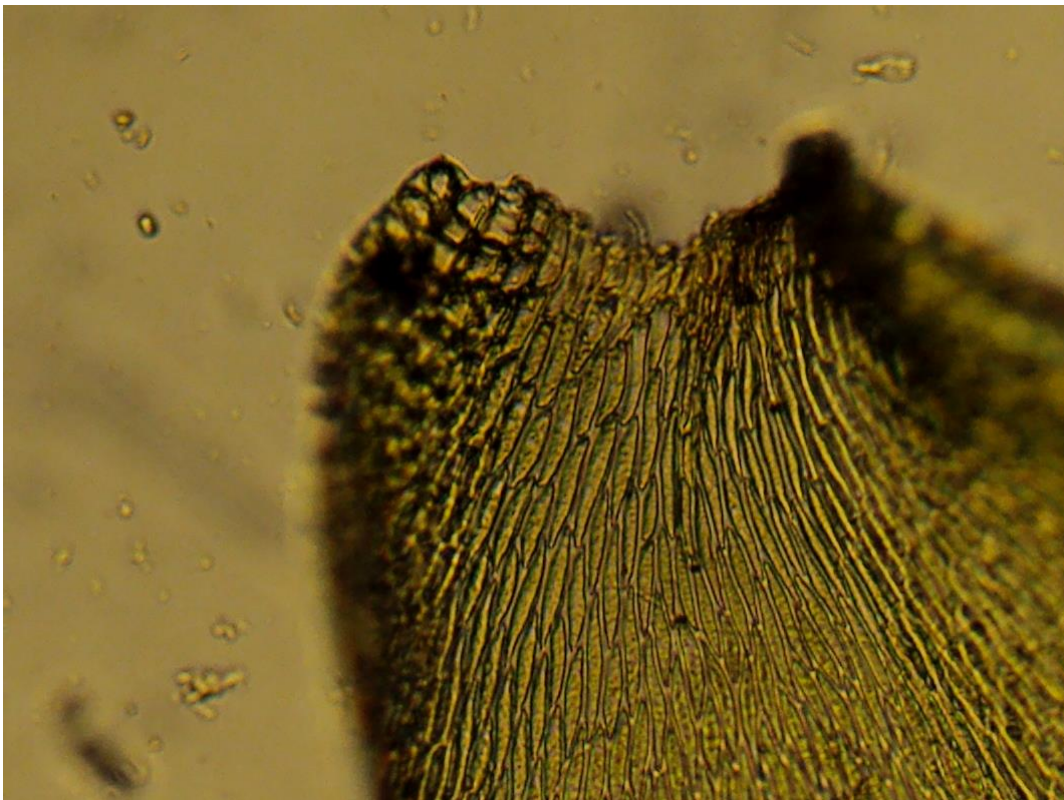
Detalle de las hojas de *Fabronia ciliaris*



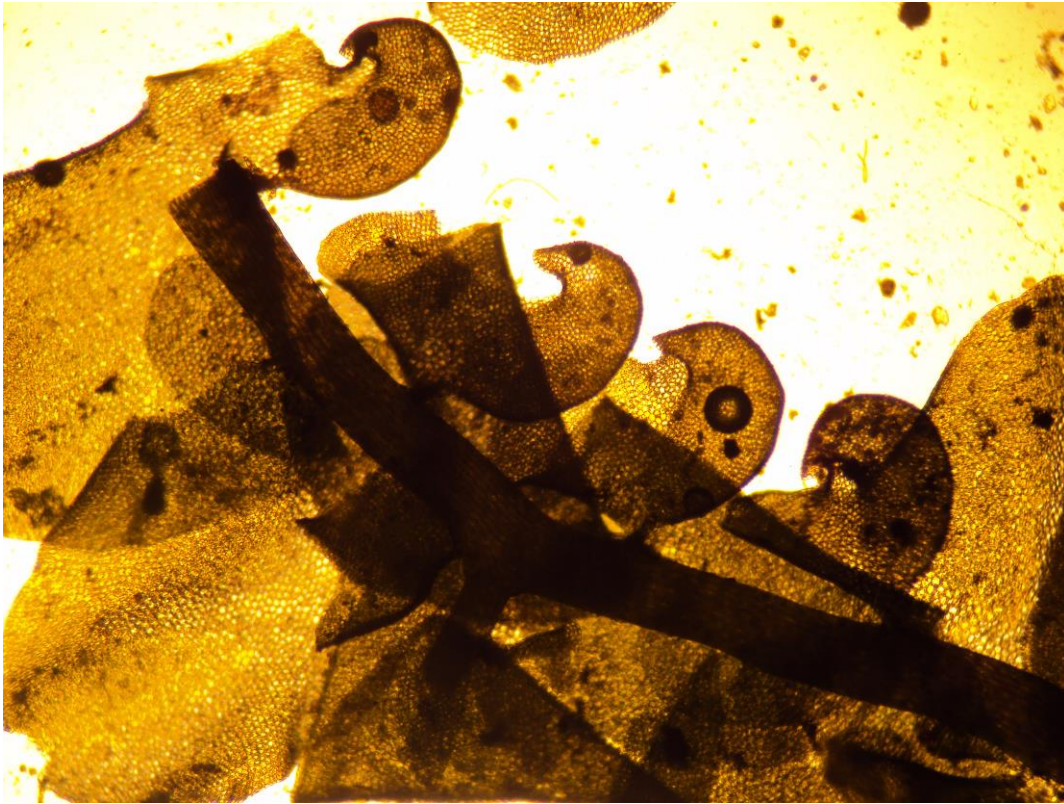
Hábito de crecimiento de *Microlejeunea* sp.



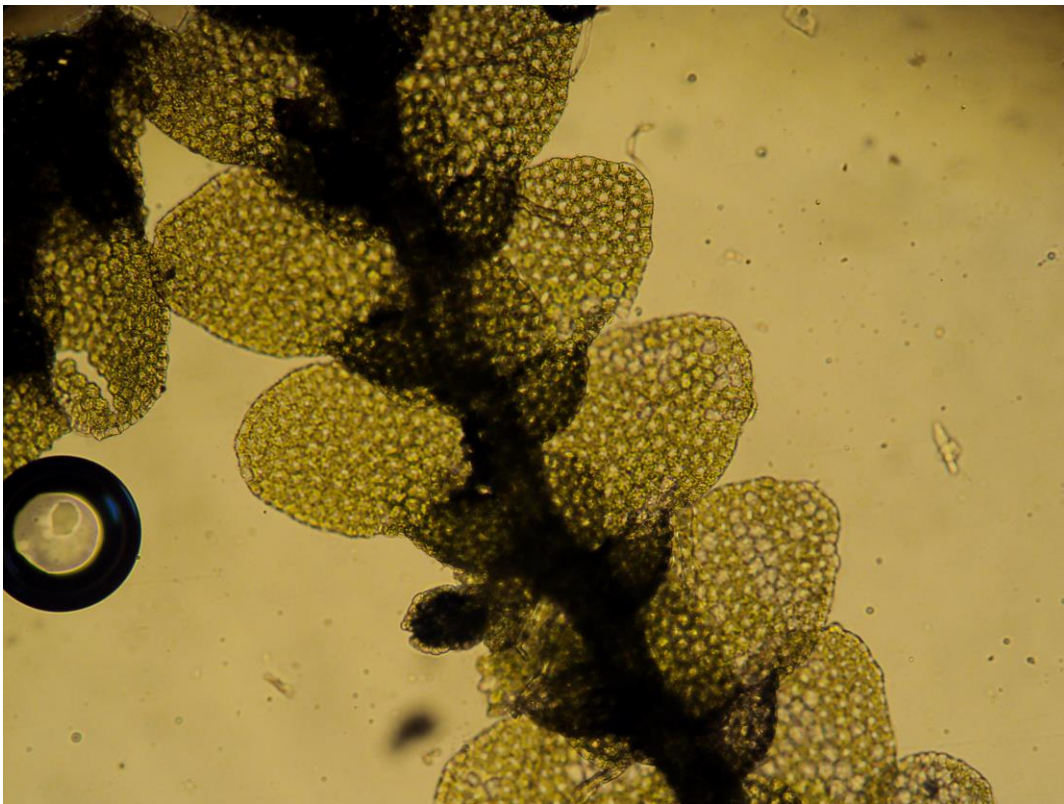
Detalle del anfigastro en *Microlejeunea* sp.



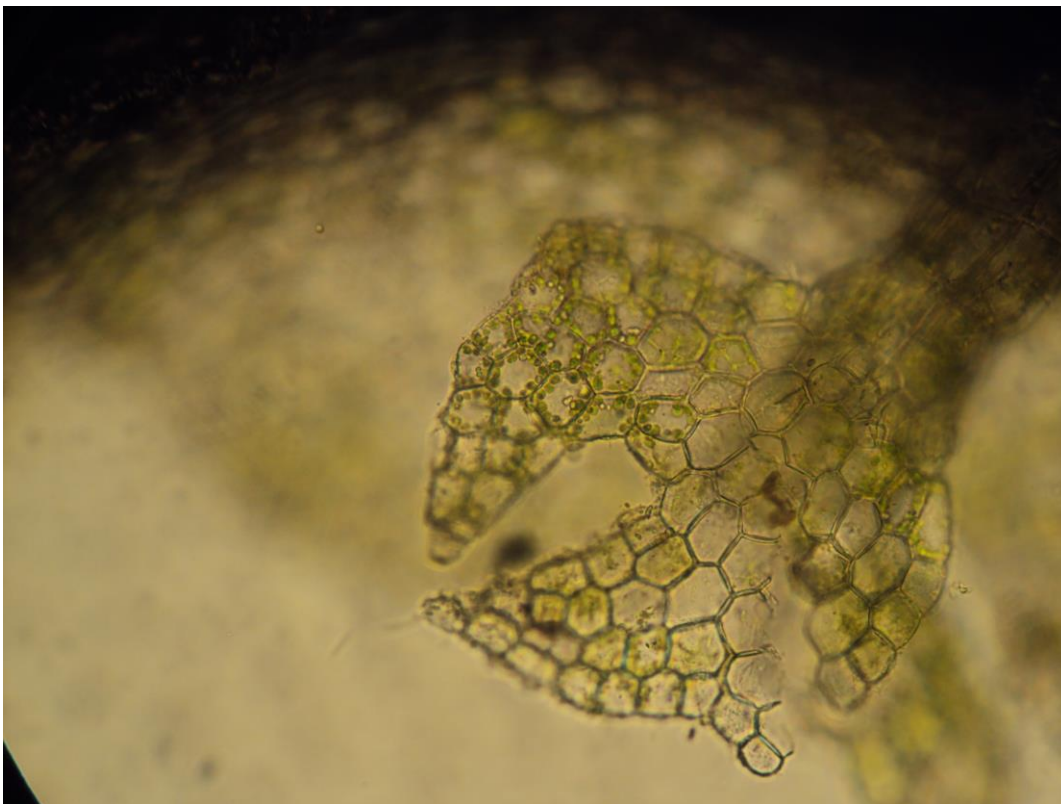
Detalle de hoja de *Sematophyllum subpinnatum*



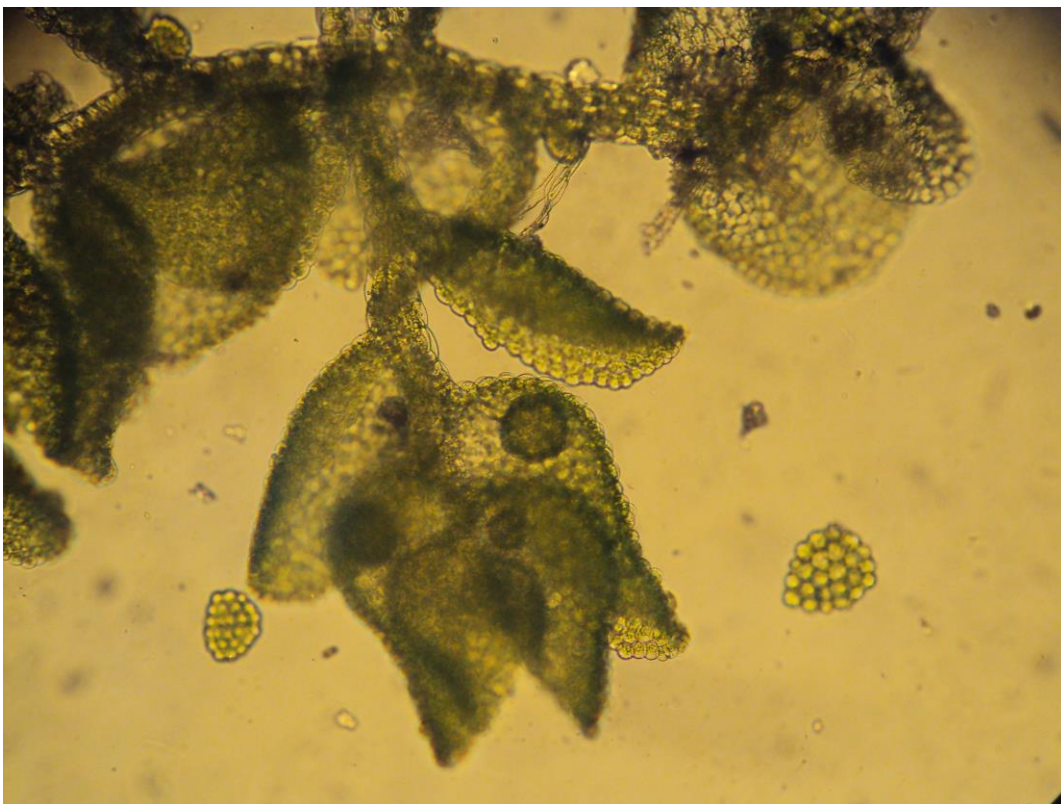
Detalle del lóbulo de *Frullania bogotensis*



Vista ventral de *Lejeunea boryana*



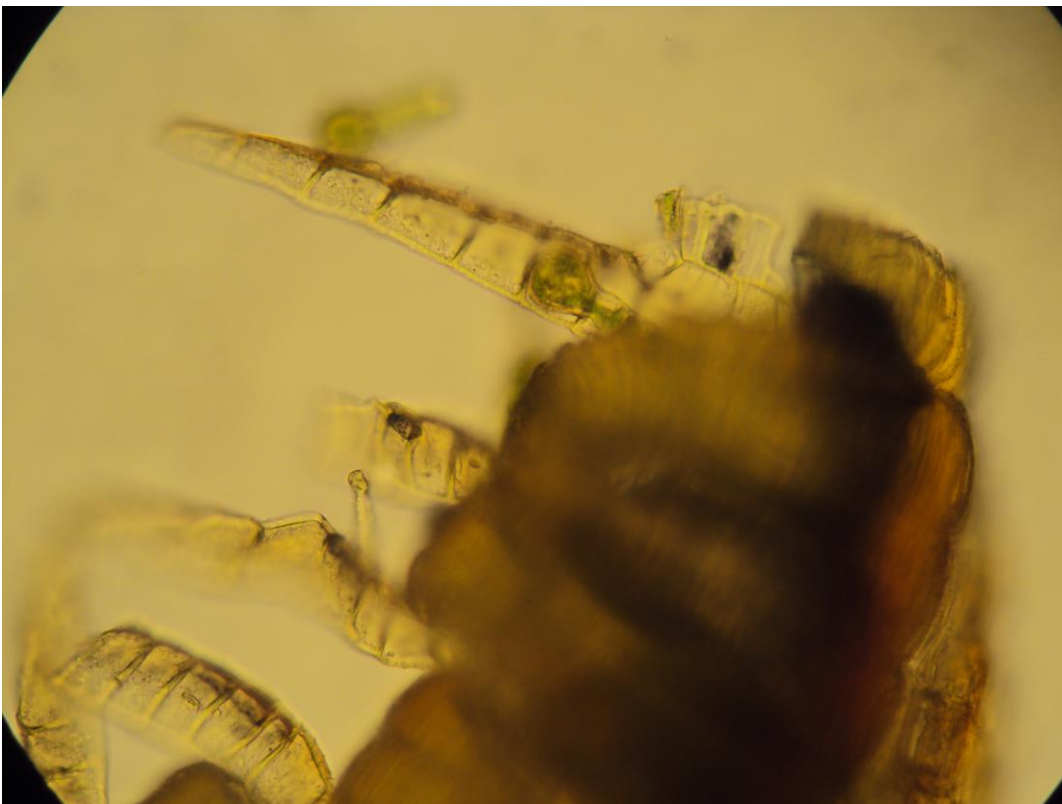
Detalle del anfigastro de *Lejeunea boryana*



Detalle de propágulos y hábito de crecimiento de *Odontoschisma* sp.



Detalle del esporofito de *Sematophyllum subpinnatum*



Detalle del endostoma de *Sematophyllum subpinnatum*.